

論文**動作計測を利用した統合計測空間の構築とその応用**梅谷智弘^a, 横山清子^b^a 甲南大学 知能情報学部 知能情報学科
神戸市東灘区岡本 8-9-1, 658-8501^b 名古屋市立大学 大学院芸術工学研究科
名古屋市千種区北千種 2-1-10, 464-0083

(受理日 2008年6月2日)

概要

本論文は、デザインや動作実験でのプロトタイプモデル評価のための、モーションキャプチャシステムを用いた統合計測空間の構築とその応用について述べたものである。本稿は、モーションキャプチャシステムの計測空間内部での人間や物体に関する複数種類のデータの統合に焦点を当てている。計測空間内で起こった事象に関するデータとモーションキャプチャデータとを統合解析する。統合解析結果をロボットやメカトロニクス分野における実機を用いたシミュレーションや、デザイン応用を目的とした人間の生活活動行動に関する動作情報と生体信号情報の統合可視化に適用する。本論文では、統合計測空間の可能性を、いくつかの事例に対する適用結果をもとに検討する。

キーワード: モーションキャプチャシステム, 統合計測空間, デザイン応用, ロボット制御**1 はじめに**

近年の計算機や計測機器の能力の向上とともに、複数の情報を同期して計測し、それらの関連性を統合的に解析する手法が研究されている。例えば、人間の動作を理解するために、人間の動作の計測時に生体信号などを同時に取得し、それらを統合的に解析し結果を可視化する手法が提案されている [1]。また、ロボット分野においても、動作を確認するだけでなく、その結果の検証が望まれている。精度の高い位置情報を計測することは困難であるが、位置情報は汎用性が高く様々な場面で利用できる。さらに、複数の取得情報を統合することによる取得情報に意味付けをすることで、ロボットの知能化など様々な応用が考えられる。

本論文は、位置情報を計測するモーションキャプチャシステムおよびその他の計測装置を用いて、統合的に空間内の人物や物体の状態を解析できる空間を構築する手法を検討する。これまで、視線や外力など、位置情報のみでは計測することのできない情報を環境に配置したセンサや人体に装着したセンサを用いて統合的に計測するシステムが提案されている [2]。統合した情報を計測し、筋骨格モ

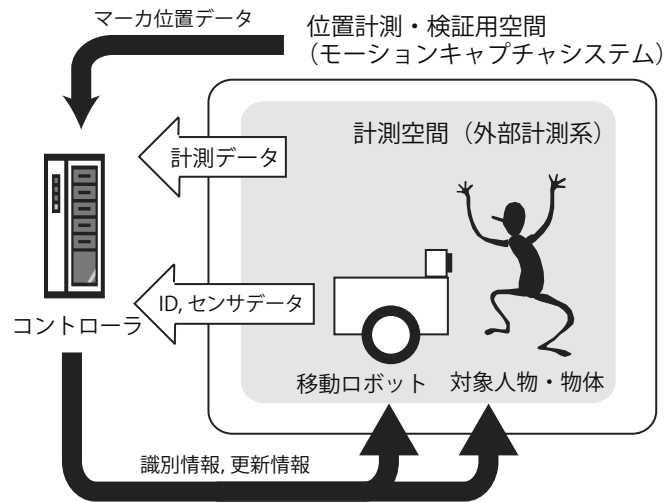


図 1: モーションキャプチャシステムを利用した統合計測の概念

デルをもとに人体内部の筋肉の内力を計算することで、運動時における動作と人体内部の筋肉の働きとの関係を導出している [3], [4]. また, Choi らは, 統合計測空間を用いて筋電図, 呼吸, 動作情報を計測し, その情報を統合して, 舞踊の定量解析を行っている [5].

高精度に位置情報を取得可能なモーションキャプチャシステムを利用することにより, 生体信号との統合解析や, ロボットシステムのモデル検証に利用できる. 本論文では, 統合計測空間を利用した設計支援への適用 [6], 動作情報を利用した生体信号の推定とその可視化 [7], 知的空間における情報取得を想定した空間情報処理への適用 [8] の事例を通して, モーションキャプチャシステムを利用した統合解析空間の可能性を検討する.

2 モーションキャプチャシステムを用いた統合計測空間の構築

本節では, モーションキャプチャシステムを用いた統合計測空間の構築について述べる. モーションキャプチャシステムを用いることの特徴と, 動作計測データとその他の計測情報との統合における課題を説明する.

図 1 に本システムの概念を示す. 計測空間内にモーションキャプチャシステム等の外部の位置計測系を構築する. 人体や物体にマーカーを取付けることによりモーションキャプチャシステムでの位置計測を行う. 同時に, 他の入力機器を用いて複数種類の情報の統合計測を行う. これらの情報を統合解析することにより, マーカーが取付けられた位置を用いた検証が行える.

このときの課題として, 位置情報と計測情報の同期があるが, 例えば, モーションキャプチャシステムのアナログ信号入力機能を用いて生体信号と動作データを同期することができる. あるいは, 人工物の場合では, 離散的な状態を仮定して対応づけることにより非同期に計測できる.

本手法を用いることで, 位置情報に何らかの意味を持たせることができる. このことにより, 人体内部の状態の統合解析や, 識別機能を利用した人工物の動作の模擬, 例えば, ロボットの動作計画の

模擬実験などへの適用が可能である。

また、統合計測空間により得られた情報を統合解析することにより、動作の識別結果や解析結果を反映して、ロボットや人工物の動作生成に利用できる。その結果を利用して、空間内に存在する移動ロボットや対象人物、物体に対して何らかの働きかけを行うことが考えられる。

次節以降では、モーションキャプチャシステムを利用して開発した統合計測空間の応用事例およびその効果を紹介し、統合空間の構築の可能性を検討する。動作情報と生体信号を統合させた日常生活行動の統合可視化システム、識別情報と位置情報とを統合させた知的空間の検証空間の構築事例を通して本手法の可能性を検討する。

3 動作情報と生体情報を利用した統合可視化システム

3.1 統合計測空間構築の目的

日常生活行動の観測や運動の教示を考えると、人体の各部位の動作情報の解析は重要な課題である。さらに、人体の内部を計測することで、身体への負担や運動の強度などを詳細に検証することができる。しかし、生体信号は主に電気信号の計測により行われるため、信号の可視化はこれまで、グラフによる図示が主流であった。また、動作はビデオ計測装置やモーションキャプチャシステムを利用して計測されてきたが、それぞれ単独で計測されることが多い。これらの情報を統合的に可視化することで、複数種類の情報の関連性による影響を直観的に理解することが可能となる [5], [9]。

本節では、統合計測空間を用いた、同期計測、統合可視化システムの構築を行い、その可能性を検討する。はじめに、動作情報と生体信号情報の統合可視化について延べ、統合可視化手法についての可能性を示す。次に、生体信号の長期計測は困難であるため、筋電信号を例とした、動作情報を基にした生体信号推定手法について検討する。コンソールパネル操作を題材とした、生体信号推定実験の結果をとおして、本手法の可能性を検討する。

3.2 動作情報と生体信号情報の統合可視化

図2に同期可視化を実現するための、同期計測、統合可視化の手順を示す。生体信号を計測する際に、身体動作を同期して計測し、それらに対して擬人化エージェントを用いて割り付けを行うことで統合的に可視化することで、動作と生体信号の因果関係を直観的に把握できる。

本システムが持つ特徴として、シミュレーションを行うことができるため、視点の変更や再生、巻き戻し、動作の重ね合わせが容易となる。また、得られた計測結果を数値的に解析して可視化しているため、元データの性質、例えば、厳密な位置姿勢の表示を可視化結果に加えて示すことができる。加えて、一部生体信号や動作情報を、シミュレーション等による推定により得られた値で置き換えて可視化することにより、推定手法の検証が行える。

筆者らは、行ったコンソールパネルの操作時における筋電図の可視化では、コンソールパネル使用時の生体負担度評価の可能性を示すことができた。図3にコンソールパネルの押し動作時における人

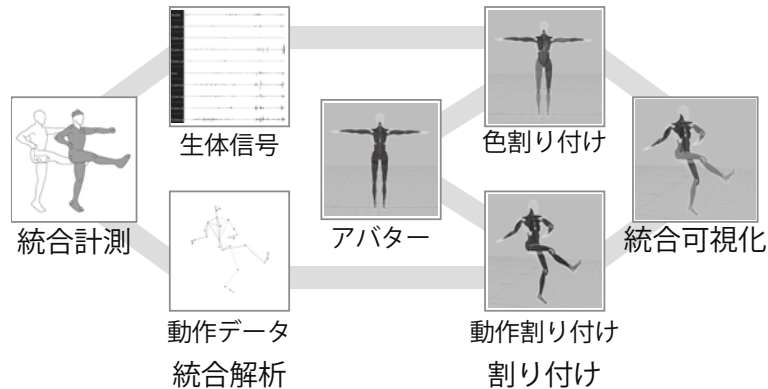


図 2: 人間の動作と生体信号の統合可視化プロセス

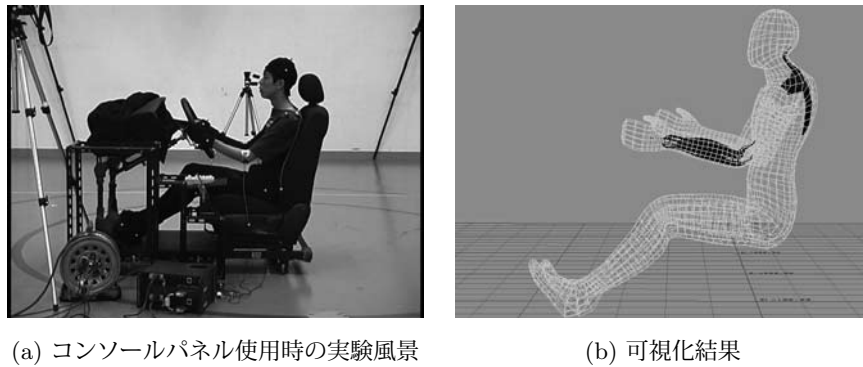


図 3: モーションキャプチャシステム内におけるパネルのボタン押し操作と統合可視化結果

体内部の状態変化の統合可視化結果を示す。この統合結果は、従来の動作や生体信号のそれぞれの解析結果からの可視化結果と比較して直観的であり、より詳細な検証が可能となった。

3.3 動作情報を用いた生体信号の推定

統合計測、統合可視化システムを利用することで、直観的に動作を比較、検討できることが可視化実験により示された。一方、運動の教示を考えると、人体の動作データのみでは、使用している筋肉の部位の違いを求めることが困難であり、動作のみで動きを評価することには限界がある。また、学習者の立場では、常に生体信号を計測することは困難であるため、統合解析の一環として、動作情報を利用した生体信号情報の推定を提案する。

人間の動作は外部から計測できる生体信号や人体内部器官の状態変化に関連し、また、その関連は、システムによりモデル化可能であると仮定する。推定システムの内部パラメータは、動作データ、生体信号データ、生理指標パラメータからなる教師用データによる学習により更新される。システムの学習ののち、動作データを計測し、学習した推定システムを用いて、人間の動作に対応する生体信号データ、生理指標パラメータを推定する。提案する推定システムの特徴を以下に示す。

- 人間の動作をもとにした生理指標の変化の特徴を推定している。
- 生理指標は、システムが動作データと生理指標パラメータ条件で学習したものであれば、学習後に任意に選択して推定することができる。
- 人体の生理学的な状態変化と人間の動作との間で区別できる可能性がある。

統合可視化システムを用いて、推定信号を可視化し、実際の計測結果による可視化結果と比較することにより手法の可能性を示す。このような生体信号の推定システムは、教示された運動の学習システムの構築や、生体信号と動作データの同時計測時の情報補完への適用が考えられる。

3.4 動作データを用いた生体信号推定実験

生体信号の推定手法の可能性を示すために、運転席左の操作パネルのボタン押し作業に関する、動作情報と筋電信号の関係を推定することで、本手法の可能性を示す。今回の実験では、運転席左側に据え付けられた操作性評価のためのパネルの模型操作に対する動作データと表面筋電図を取得する。なお、被験者は健康な男性である。図4に今回の実験で使用した光学式マーカおよび電極の配置図を示す。光学式マーカは33個被験者の全身に取り付けた。また、表面筋電図用の電極を被験者の体に貼付した。電極は、左三角筋、左腕橈骨筋の筋電図を計測するために貼付した。

入力データとして関節角度と人体の各部位の速さを用いる。関節角度は、図4に示すマーカの相対位置関係から得られる方向ベクトルの内積により求める。

$$\begin{aligned}\theta_s &= \cos^{-1} \left(\frac{(\mathbf{p}_{m_{ls}} - \mathbf{p}_{m_{rs}}) \cdot (\mathbf{p}_{m_{le}} - \mathbf{p}_{m_{ls}})}{|\mathbf{p}_{m_{ls}} - \mathbf{p}_{m_{rs}}| |\mathbf{p}_{m_{le}} - \mathbf{p}_{m_{ls}}|} \right), \\ \theta_e &= \cos^{-1} \left(\frac{(\mathbf{p}_{m_{le}} - \mathbf{p}_{m_{ls}}) \cdot (\mathbf{p}_{m_{lw}} - \mathbf{p}_{m_{le}})}{|\mathbf{p}_{m_{le}} - \mathbf{p}_{m_{ls}}| |\mathbf{p}_{m_{lw}} - \mathbf{p}_{m_{le}}|} \right), \\ \theta_w &= \cos^{-1} \left(\frac{(\mathbf{p}_{m_{lw}} - \mathbf{p}_{m_{le}}) \cdot (\mathbf{p}_{m_{lt}} - \mathbf{p}_{m_{lw}})}{|\mathbf{p}_{m_{lw}} - \mathbf{p}_{m_{le}}| |\mathbf{p}_{m_{lt}} - \mathbf{p}_{m_{lw}}|} \right).\end{aligned}$$

ただし、 $\mathbf{p}_{m_{rs}}$ 、 $\mathbf{p}_{m_{ls}}$ 、 $\mathbf{p}_{m_{le}}$ 、 $\mathbf{p}_{m_{lw}}$ 、 $\mathbf{p}_{m_{lt}}$ は、それぞれ、右肩、左肩、左肘、左手首、左手親指の位置である。人体の各部位の速さに使用するマーカは、左肩、左肘、左手首、左手親指、左手小指であり、マーカの1 [sec] 当たりのフレーム間距離を、各部位の速さとする。マーカの位置、筋電信号は60 [Hz] でPCに同期して入力する。モーションキャプチャ装置はEvaRT4.2を使用して計測を行い、マーカの位置と同期して、筋電信号を入力する。筋電信号は、NEC MedicalのMT11を使用し、12bitのA/Dコンバータで入力する。筋電信号は絶対値をとる。それぞれの入力データを移動平均により平滑化し、区間[0, 1]に規格化する。

人間の動作と筋電信号の強さとの関係は、マーカの各部位および関節角を入力、筋電信号強度を出力とする階層ニューラルネットワークを構築し、新たな動作データに対して筋電信号を推定することで行う。入力層はマーカのフレーム間距離5次元、関節角3次元の計8次元、出力層は筋電信号強度の2次元となる。また、中間層の大きさは、実験的に128次元とする。また、ニューラルネットワー

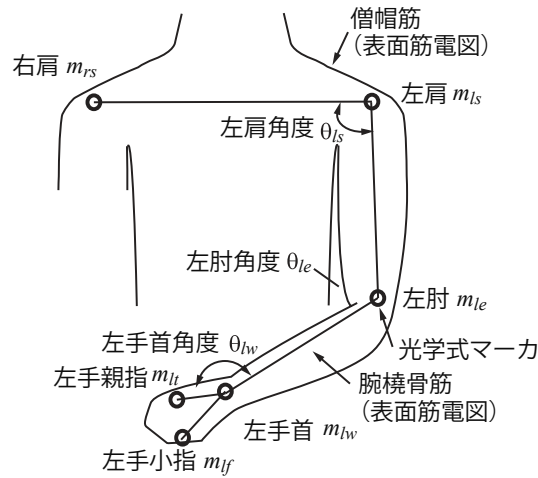


図 4: マーカと電極の配置

は、3区間の過去の動作データを入力値に用いる [10]. 学習用データの長さは 3 [sec] であり、それを 2.0×10^4 回試行する.

動作データとして、低い位置で水平に設置されたコンソールパネルの操作について、複数回の同じ動作について、うち 1 回の人間の動作および筋電信号を教師データとし、他の回の動作データに対する筋電信号の推定を行う. また、比較として、学習したニューラルネットワークにより、同じ高さの取付け角度が 90 [deg] のコンソールパネル操作時の動作に対する筋電信号の推定を行う. システムの学習結果として、教師データとシステムによる推定値の相互相関係数は、僧帽筋および左腕橈骨筋でそれぞれ、0.950 と 0.952 となっている. このことから、教師データに対して、ほぼ正しく推定できていることが確認された.

教師データによる学習を行った推定システムを用いて、2種類のパネル操作に対する動作データを用いて筋電信号を推定した. 筋電信号の推定に用いた動作は全体で 28 [s] であり、9 [s], 19 [s] から 3 秒間でパネル押し操作を行う. その他の時間帯は、ステアリングホイールに手を置いて休息状態としている. 操作するパネルは、1つは、水平に設置されており、システムの学習に用いた条件と同一である. もう一方の設定は、パネルは垂直に設置されている.

図 5 に、推定結果と計測結果との比較を示す. 図の横軸は、時間 [s], 縦軸は、正規化した表面筋電図である. 図中の黒は推定結果, 灰色は計測結果である. また、図中の背景が塗られている部分は、パネル操作を行っている時間帯である. 図より、コンソールパネルの操作時に筋電信号の出力が増大し、推定できる可能性を示している. 一方、相互相関係数は、僧帽筋が 0.486, 左腕橈骨筋が 0.269 と低くなっている. これは、操作していない安静時において、生体信号の推定が困難であり、また、筋電信号は振動数が高く振幅が大きいいため、追従できていない (ピークがずれることで現れる) ことが考えられる.

比較対照として、取付け角度が異なるコンソールパネルの押しボタン操作に関する計測値と推定値の比較を図 6 に示す. 相互相関係数は、僧帽筋と左腕橈骨筋とで、0.098 と 0.060 となった. 図より、動作に関する筋電信号の推定および識別の可能性を示している.

実験結果より、一部の筋肉では筋電信号の推定が行え、さらに動作の識別の可能性を示せた. 一方、

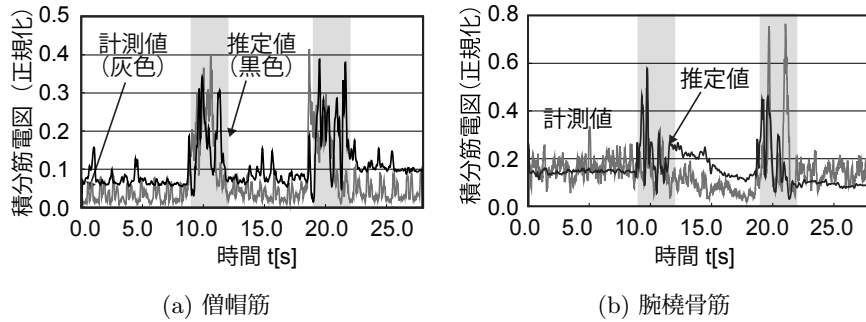


図 5: 推定結果 (水平パネル操作)

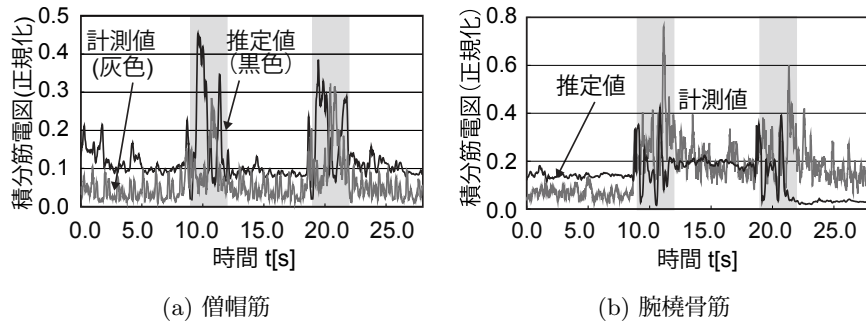


図 6: 推定結果 (垂直パネル操作)

推定信号の強度について精度は高いといえず、適切なパラメータ選定および、手法の検討を必要とする。また、本手法では、ネットワークの構造、および、学習回数について実験的に求めており、決定するための評価指標が必要である。

4 ロボットのための知的情報インフラ構築と位置計測による効果の検証

4.1 統合計測空間構築の目的

バーコードや RFID タグなど添付型記憶媒体を用いて物体とその情報を関連づける方法が、情報の添付方法の容易さやコストの面から注目され、知的情報インフラとして様々な分野で適用されている。物体は、情報を更新できない人間やロボットにより移動されることがあるため、物体に関連づけられた情報として位置情報を扱うことは問題がある。正しい情報を獲得、蓄積するためには、物体の位置姿勢をその場で習得することが望まれる。

これまで、ロボットや作業員による ID 読み取り器による記憶媒体の読み取りを利用した物体の位置姿勢推定手法が提案されている [11], [12]。しかし、実験を実施するためには高精度かつ広い計測空間を用いた推定結果の検証を必要としている。梅谷らの報告では、自動化の検証のために、2次元平面上に配置された物体の位置姿勢推定を行っている。ところで、3次元空間での任意の姿勢計測を検証するためには、特定の姿勢の計測ではなく、任意に配置した物体の位置姿勢を推定する必要がある。

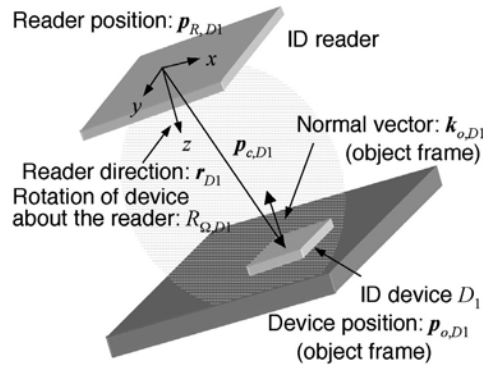


図 7: 読み取り器の座標系

本稿では、作業者による情報取得を想定した、物体の位置姿勢推定環境を構築し、実験により可能性を検討する。IC タグの読み取りを用いた物体の位置姿勢推定について、小型読み取り器のモデル化を行い、最低 2 個の IC タグの読み取りによって、位置姿勢推定が可能であることを示す。統合計測空間下で位置姿勢推定実験を行い、3次元での位置姿勢推定結果を評価し、ロボットのための位置姿勢計測空間の可能性を示す。

4.2 IC タグを用いた物体の位置姿勢推定

ここで、物体に添付された IC タグを用いた物体の位置姿勢推定手法を説明する [8]。最初に、読み取り器として小型の RFID リーダを想定して読み取り器による IC タグの読み取りをモデル化する。記憶媒体が取り付けられた物体が読み取り器の通信範囲より非常に大きいとすると、読み取り器の性質を以下にまとめられる。

- 読み取り器の正面軸方向近傍に読み取り範囲が存在する。
- 読み取り範囲に記憶媒体が存在し、かつ、読み取り器方向を向く場合 ID を取得することができる。傾けることのできる範囲は読み取り器に依存する。
- IC タグが読み取り器に対して回転してもよい。

図 7 に、読み取り器による IC タグの読み取り時のモデルを示す。図中の Σ_{R,D_1} は読み取り器の座標系、 \mathbf{p}_{R,D_1} は参照座標系における読み取り器の位置、 \mathbf{p}_{c,D_1} は読み取り器座標系における記憶媒体の位置、 \mathbf{p}_{o,D_1} は物体座標系における記憶媒体の位置、 ${}^W R_{R,D_1}$ は読み取り器の姿勢行列、 $R_{\Omega_{D_1}}$ は記憶媒体の座標系における回転行列、 \mathbf{k}_{o,D_1} は記憶媒体の向きを表す方向ベクトルをそれぞれ示す。方向ベクトルの大きさは 1 とする。実際には、 \mathbf{k}_{o,D_1} は物体座標系における取り付け面の法線ベクトルとして登録できる。読み取り器の読み取り面は、読み取り器の座標系の z 軸の方向に取る。ここで、 \mathbf{p}_{c,D_1} と $R_{\Omega_{D_1}}$ の取りうる範囲は読み取り器に依存する。ただし、物体の読み取り時には決定できないものとする。

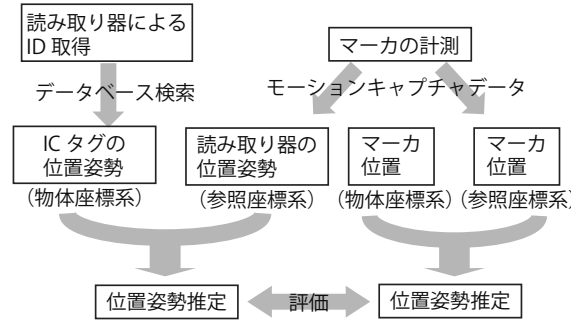


図 8: 位置姿勢推定実験の実験手順

IC タグは物体に取り付けられていることから、参照座標系における物体の位置 \mathbf{p}_o 、姿勢 ${}^W R_o$ は、参照座標系における読み取り器の位置姿勢、物体座標系における IC タグの位置、方向を用いて表現できる。物体に添付された IC タグ D_1 と読み取り器との位置や姿勢の関係は以下で表せる:

$$\mathbf{p}_{R,D_1} + {}^W R_{R,D_1} \mathbf{p}_{C,D_1} - {}^W R_o \mathbf{p}_{o,D_1} - \mathbf{p}_o = \mathbf{0}, \quad (1)$$

$$R_{\Omega_{D_1}} \mathbf{r}_{D_1} \cdot {}^W R_o \mathbf{k}_{o,D_1} = -1, \quad (2)$$

$$R_{\Omega_{D_1}} \mathbf{r}_{D_1} \times {}^W R_o \mathbf{k}_{o,D_1} = \mathbf{0}. \quad (3)$$

記号 \cdot , \times はそれぞれ、ベクトルの内積、外積である。ここで、 \mathbf{r}_{D_1} はタグ D_1 読み取り時の読み取り器の方向ベクトルを表す。このとき、物体の位置姿勢の取りうる範囲は、読み取り器のパラメータに依存した集合で表せる。この関係は物体に取り付けられた各タグの読み取りについて成立するため、読み取れる位置姿勢に関する積集合が求める物体の位置姿勢の集合である。

以上の手順により、各タグについての観測データとして表現することで、物体の位置姿勢を推定できる。この場合、読み取り器の姿勢に関する式は同じ方向の場合、姿勢に関して従属であるが、位置に関して独立なので、最低 2 個のタグの読み取りで、9 個の変数に対して、式が最低 10 本成立する。したがって、最低 2 個のタグの読み取りにより物体の位置姿勢が推定できる。この関係を用いて、物体の位置姿勢を推定する。

4.3 位置姿勢推定実験

提案手法の可能性を示すために、位置姿勢推定実験を行った。位置姿勢推定結果を検証するために、モーションキャプチャシステムによる位置計測を利用して、提案モデルによる位置姿勢推定精度を評価した。図 8 に実験手順を示す。読み取り器および対象物にマーカを取付けることで、読み取り器の動作した時点での読み取り器の位置姿勢を計測した。また、物体に取り付けられたマーカの位置計測結果と比較し、手法の検証を行った。

モーションキャプチャシステムにより、IC タグの読み取り器の位置と方向を推定し、登録された IC タグの位置と方向を用いて物体の位置姿勢を推定する。一方、物体に取り付けたマーカの位置情報を利用して物体の位置姿勢を推定し、タグの読み取りによる物体の位置姿勢推定結果と比較する。

表 1: 位置姿勢推定誤差

実験条件	平均位置姿勢誤差	標準偏差
	上: (x - y - z) [mm] 下: (R - P - Y) [deg]	上: (x - y - z) [mm] 下: (R - P - Y) [deg]
水平な物体 (3 個の IC タグ)	10.05 - 11.00 - 19.81 0.39 - 0.83 - 0.25	2.46 - 1.89 - 2.30 0.15 - 0.40 - 0.16
水平な物体 (2 個の IC タグ)	16.34 - 4.39 - 21.10 1.45 - 1.68 - 1.25	5.48 - 3.86 - 5.07 0.64 - 0.50 - 0.44
傾いた物体 (3 個の IC タグ)	14.60 - 5.73 - 16.39 2.38 - 0.58 - 2.38	4.02 - 1.55 - 2.29 0.30 - 0.30 - 0.86
傾いた物体 (2 個の IC タグ)	11.59 - 26.88 - 29.54 4.83 - 2.09 - 3.04	7.08 - 6.32 - 5.24 1.10 - 0.26 - 0.02

今回の実験では、ロボットアームによる動作生成の予備実験、また、作業者による情報取得を念頭に置いて、読み取り器の位置姿勢は被験者が読み取り器を移動させて計測した。

登録した IC タグは、物体座標系において (207, 0, -290), (-193, 0, -235), (165, 0, 320) ([mm]) とし、方向ベクトルはいずれも (0, 1, 0) とする。これらはあらかじめ計算機に登録されているものとする。この物体をモーションキャプチャシステム内の測定空間内に適当に配置し、実験を行った。

以上の条件を設定して、Gauss - Newton 法を用いて物体の位置姿勢を求めた。初期解として、 $\mathbf{p}_0 = [0, 0, 0]^T$ 、姿勢行列は単位行列の基底を設定し物体の位置姿勢を計算した。9 回物体の配置を変更し、それぞれで位置姿勢を求めた。平らに配置した 1 条件、および、傾けて配置した 1 条件については 10 回読み取り器を移動させ位置姿勢を推定した。IC タグは 3 個決まった順に読み取り、位置姿勢推定において 2 個、および、3 個使用での推定結果を比較した。これはそれぞれ、直線上の 2 個の IC タグ、直線上にない 3 個の IC タグの読み取りによる物体の位置姿勢推定に相当する。

物体のある位置姿勢をそれぞれ 10 回計測したときの位置姿勢の平均誤差、標準偏差を表 1 に示す。上段が位置、下段が姿勢を示し、各軸ごとの平均誤差、標準偏差である。表より、いずれの場合でも位置姿勢を推定できることが示された。さらに、表 1 は、同一直線上にない 3 個の IC タグによって推定することで、安定して物体の位置姿勢を推定できることを示している。また、この結果は定性的な結果であることに注意する必要がある。

以上の結果から、様々な配置について、同一直線上にない 3 個の IC タグにより位置姿勢を推定したところ、定性的に物体の位置姿勢推定誤差が小さくなることが表 1 より確認できた。実際には、方向が同一で一列に並んだ IC タグを読み取る場合、読み取り器の読み取り範囲、および許容されるタグの傾きの大きさのため、物体の位置姿勢の誤差が大きくなる。方向が同一で一列に並んだ IC タグを読み取る場合、読み取り器に対する IC タグの傾きが許容されるため、読み取り器が IC タグに対して傾いている場合、本手法では位置姿勢を精度良く推定することは困難である。

以上の実験結果より、統合計測空間を利用することで、ロボットが動かせない場合でも、ロボットの動作を想定した計測、検証が行えることを示した。これまで、位置姿勢推定結果を検証することは、

任意の姿勢に対して広範囲で実施することが困難であった。位置姿勢推定実験に適用することで、本手法の可能性を示すことができた。

一方、対象の移動には人間の意思が介在するため、本システムでロボットや機械の制御を模擬することは困難である。以上より、ロボットのための知的情報インフラおよびその検証法として統合計測空間の有用性が示された。

5 おわりに

本論文は、モーションキャプチャシステムを利用した情報化空間の構築手法を取り上げ、その応用例として、デザイン分野での生体信号と動作信号の統合可視化システムのための計測空間の構築、および、作業空間内における情報取得の模擬実験環境の構築を取り上げ可能性を検証した。ある事象に関して同期して取得した複数種類の情報を統合的に解析することで、それぞれ独立した解析では困難な複数情報の相互関係を得ることができる。また、本システムは高精度な計測結果を利用するため、解析結果の可視化のみならず、人間や物体の位置姿勢計測結果を用いた、従来行われてきた数値による検証も可能である。

今後の課題として、構築した情報化空間を利用した計測手法の開発、動作情報と生体信号の統合計測における空間の構築およびその応用、計測情報のロボットや空間内の人間へのフィードバック、情報提供手法の開発が挙げられる。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費 17700189、堀情報科学振興財団研究助成金、日比科学技術振興財団研究助成金によります。知的情報インフラ構築における、IC タグを用いた環境情報化について、大阪大学 大学院基礎工学研究科新井健生教授、山形大学 大学院理工学研究科井上健司教授の助言をいただきました。モーションキャプチャシステムの構築、および、実験に関して、名古屋市立大学大学院芸術工学研究科松河剛司氏の助言をいただきました。また、知的情報インフラ構築の実験にて、名古屋市立大学大学院芸術工学研究科阪本裕文助教の協力をいただきました。ここに謝意を表します。

参考文献

- [1] T. Matsukawa, T. Umetani and K. Yokoyama, “Development of health monitoring system based on three-dimensional imaging bio-signals and motion data,” in *Proc. 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC '07)*, pp. 1523 – 1527, 2007.
- [2] 藤原清幸, 岡本庄司, 山根克, 中村仁彦, “ビヘイビアキャプチャシステムの構築,” 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'00 講演論文集, CD-ROM Proceedings, 2A1-79-118, 2 pages, 2000.

- [3] Y. Nakamura, K. Yamane, Y. Fujita and I. Suzuki, “Somatosensory computation for man-machine interface from motion capture data and musculoskeletal human model,” *IEEE Trans. Robotics*, vol. 21, no. 1, pp. 58 – 66, 2005.
- [4] K. Hase and N. Yamazaki, “Development of three-dimensional whole-body musculo skeletal model for various model analysis,” *JSME International Journal Series C*, vol. 40, no. 1, pp. 25 – 32, 1997.
- [5] W. Choi, T. Isaka, M. Sakata, S. Tsuruta and K. Hachimura, “Quantification of dance movement by simultaneous measurement of body motion and biophysical information,” *International Journal of Automation and Computing*, vol. 4, no. 1, pp. 1 – 7, 2007.
- [6] 松河剛司, 横山清子, 梅谷智弘, 野倉邦宏, 永田雅典, “筋電図の可視化によるデザイン評価システム,” 日本人間工学会東海支部 2006 年研究大会論文集, pp. 48 – 49, 2006.
- [7] T. Umetani, T. Matsukawa and K. Yokoyama, “Estimation of bio-signal based on human motion for integrated visualization of daily-life,” in *Proc. 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC '07)*, pp. 3261 – 3265, 2007.
- [8] T. Umetani, K. Inoue and T. Arai, “Pose estimation of construction materials using multiple ID devices for construction automation,” in *Proc. 23rd International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, pp. 164 – 169, 2006.
- [9] T. Komura and Y. Shinagawa, “Attaching physiological effects to motion-captured data,” in *Proc. Graphic Interface 2001*, pp. 27 – 36, 2001.
- [10] A. Waibel, T. Hanazawa, G. Hinton, K. Shikano and K. J. Lang, “Phoneme recognition using time-delay neural networks,” *IEEE Trans. Acoustic, Speech, and Signal Processing*, vol. 37, pp. 328 – 329, 1989.
- [11] K. M. Furlani and W. C. Stone, “Architecture for discrete construction component tracking,” in *Proc. 16th IAARC/IFAC/IEEE International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, pp. 289 – 294, 1999.
- [12] 梅谷智弘, 前泰志, 井上健司, 新井健生, 八木淳一, “複数の環境添付型記憶媒体を用いた物体の位置姿勢推定,” 日本ロボット学会誌, vol. 23, no. 1, pp. 84 – 94, 2005.