

機関番号：17102
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2009～2010
 課題番号：21700224
 研究課題名（和文） 動画像からの形状・運動・作業文脈抽出に基づく物体操作のモデリング
 研究課題名（英文） Modelling Object Manipulation from Shape, Motion and Context in Video
 研究代表者
 小川原 光一（OGAWARA KOICHI）
 九州大学・工学系研究院・特任准教授
 研究者番号：70452810

研究成果の概要（和文）：

モーションキャプチャデータもしくは動画像から認識対象の候補となりうる高頻度出現パターンを自動かつ高速に発見・抽出する手法を提案し、また自動抽出された動画像クリップの中に出現する未知の操作物体の3次元形状と構造を自動取得する手法を提案した。また、動画像中に高頻度で出現する物体操作を自動的に分類し、これに基づき動画像から物体操作を識別する手法を提案した。

研究成果の概要（英文）：

Partly Locality Sensitive Hashing is proposed to efficiently extract frequent patterns from motion capture data or video so as to train recognizers automatically. The 3D shape and articulation of unknown objects found in frequent patterns are also recovered based on the variant of SFM methods. As a result, manipulation tasks can be trained and recognized from video in an unsupervised way.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	900,000	270,000	1,315,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,700,000	510,000	2,355,000

研究分野：ロボティクス・コンピュータビジョン

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：インテリジェントルーム

1. 研究開始当初の背景

日常生活環境にセンシング技術やロボット技術を導入し、生活支援手段としてこれらの技術を積極的に活用していくことを目的とした研究開発が近年盛んに行われているが、この実現には人間の行動を計測・認識するための技術が不可欠である。

従来の行動認識に関する研究、なかでも物体操作の認識については、汎用的であるが抽象度の低い認識器（接触状態変化の検出など）を設計する方法や、恣意的に絞り込んだ少数の動作専用の認識器（把持方法の検出など）を設計する方法などが一般的であった。しかし、これらはいずれも事前に認識器を注意深

く設計する必要があり、何を認識対象とし観測データ中の何に注目すべきかは人間が決めていた。そのため、未学習の行動にシステムが対処することは原理的に不可能であった。

この問題に対して、研究代表者は観測データ中の構造化された情報に基づき作業をモデル化する方法を提案している。これは、人間が意図して行う動作は、動作の再現性・動作間の因果関係・特定の物体との相互作用など何らかの構造を内包して観測データ中に表れるため、作業に関する事前知識無しにこれらの普遍的な構造を抽出することで作業文脈のモデル化を行う方法である。

提案手法では、意味を持った動作が長時間の観測データ中に何度も表れる動作の再現性に着目して、空間に投影された物体間の相互作用（相対運動軌跡）の密度（運動密度）を構造化された情報の評価基準とし、事後確率最大化の枠組みで繰り返し動作の抽出を行う。データ量 N に対する平均計算量を $O(N \log N)$ に抑え、長時間の観測データ中に散発的に表れる繰り返し動作の効率的な抽出に成功している。これに対し、観測データを細かく区切り単純にクラスタリングするといった方法では、意味を持った動作単位をうまく抽出することは困難である。

2. 研究の目的

前記の手法では、環境中の物体に位置計測装置を取り付け、それから得られる3次元運動軌跡を入力として作業の構造を抽出していた。このような方法は実用的ではなく、カメラなどの非接触な計測手段を用いることが望ましいが、対象に関する事前の知識無しに画像情報のみから対象の運動情報を得ることは一般には困難である。

しかし、任意の剛体運動は最大4次元の部分空間で表現可能であることが知られており、観測対象の動画情報には運動成分と形状成分の積として構造化されているため、因子分解法によって形状情報と運動情報を分離して抽出することが可能である。

つまり、物体操作を観測した動画データには、(a)対象の3次元形状と運動が構造化された情報と、(b)作業文脈が構造化された情報の2つが内包されており、この構造を抽出することによって、事前の知識無しに作業の概略を知ることが可能になる。また、抽出された動作やその因果関係は確率的状態遷移モデルとして記述できるが、このモデル構造はそのまま物体操作認識器の内部構造としても

利用可能である。

そこで、本研究では以下の3点を目標とする。

- (1) 動画像から対象の3次元形状・運動の情報を抽出する手法の開発
- (2) 運動情報を元に作業の文脈を抽出して物体操作のモデル化を行う手法の開発
- (3) 物体操作のモデルから物体操作の認識器を構築する手法の開発

3. 研究の方法

平成21年度は以下の研究項目を実施した。

(1) 観測データ中の普遍的な構造として繰り返し出現する行動パターンに着目し、近似最近傍探索の枠組みを高頻度パターン探索に応用することによって、従来と比べて少ない計算量で時系列データから高頻度パターンを抽出する手法を開発する。また、物体操作を計測したモーションキャプチャデータおよび全身運動を計測した動画像に対して提案手法を適用し、提案手法の優位性を確認する。

(2) 未知関節物体の操作を計測した動画像データのみから、物体の運動と3次元形状およびその構造を精度よく推定する手法を開発する。

平成22年度は以下の研究項目を実施した。

(3) 昨年度に開発した近似最近傍探索の枠組みに基づく時系列データからの高頻度パターン探索法について、時系列データの間引き率とハッシュ空間のバケットサイズの最適値を実験的に求める。また、この最適パラメータに基づいて、従来法との比較の観点からモーションキャプチャデータおよび動画像データそれぞれについてデータ量と計算時間の関係を定量的に評価し、提案手法の優位性を確認する。

(4) 操作物体と被操作物体の間の相対運動として物体操作を表現し、物体の見えと運動に基づいて高頻度パターンに対応する動画像クリップの集合から物体操作の切り出しと分類を行うことによって物体操作を学習する手法を開発する。また、動的計画法を用いて未知の動画像から物体操作を識別する手法を開発する。

4. 研究成果

部分的に局所性を保持するハッシュ関数を用いて、近似最近傍探索の枠組みに基づきモーションキャプチャデータもしくは動画像から認識対象の候補となりうる高頻度出現パターンを自動かつ高速に発見・抽出する手法を提案した。

また、運動からの形状復元法 (Structure from Motion) 法に基づき、観測動画像中の特徴点に欠損がある場合でも、関節構造物体の3次元形状と関節構造を頑健に推定する方法を提案し、高頻度パターンとして検出された動画像クリップの中から未知の操作物体の3次元形状と構造を自動取得する手法を提案した。

また、上記の方法によって、教師なしで2物体間の相互作用として表現される物体操作作業を学習し、これに基づいて動画像から物体操作を識別する手法を提案した。

本研究は、日常生活空間で活動するロボットのための行動獲得手法として有効であると考えられる。日常生活空間では、設計者が事前に想定できない未知の事象が起りうるため、これらの事態に適応的に対処できる能力が求められるとともに、ロボット専門家ではない一般人がロボットに対して簡便に動作を教示できるようにするという観点からも、観察に基づいて未知の事象の自動モデル化を実現する本研究は重要になってくると考える。

今後は本研究をさらに発展させ、動作の因果関係などより高位の知識や、ロボットの身体性を利用した動作獲得・再生などに取り組みたい。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① 小川原 光一, "階層的な出力メッセージの平均化に基づく近似確率伝搬法, 電子情報通信学会論文誌", Vol. J94-D, No. 3, 2011, pp. 593-603
- ② 小川原 光一, 田邊 康史, 倉爪 亮, 長谷川 勉, "Partly Locality Sensitive Hashing を用いた時系列データからの高頻度パターン抽出", 日本ロボット学会誌, Vol. 29, No. 1, 2011, pp. 67-76

[学会発表] (計9件)

- ① 小川原 光一, 3次元計測データの階層的な削減に基づく高速運動のマーカレスモーションキャプチャ, 第11回計測

自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会, 2010年12月24日, 仙台(宮城)

- ② Koichi Ogawara, Yasufumi Tanabe, Ryo Kurazume, Tsutomu Hasegawa, "Detecting Frequent Patterns in Video using Partly Locality Sensitive Hashing", The 2nd International Workshop on Video Event Categorization, Tagging and Retrieval in conjunction with ACCV 2010, WS4-P06, pp. 1-10, 2010年11月9日, Queenstown (New Zealand)
- ③ Koichi Ogawara, Yasufumi Tanabe, Ryo Kurazume, Tsutomu Hasegawa, "Detecting Repeated Patterns using Partly Locality Sensitive Hashing", IEEE/RSJ 2010 Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp. 1353-1358, 2010年10月19日, Taipei (Taiwan)
- ④ 小川原 光一, 田邊 康史, 倉爪 亮, 長谷川 勉, "部分的に局所性を保持するハッシュ関数を用いた画像列からの高頻度パターン抽出", 第28回日本ロボット学会学術講演会, 2010年9月23日, 名古屋(愛知)
- ⑤ Koichi Ogawara, "Approximate Belief Propagation by Hierarchical Averaging of Outgoing Messages", 20th Int. Conf. on Pattern Recognition (ICPR), pp. 1368-1372, 2010年8月24日, Istanbul (Turkey)
- ⑥ 小川原 光一, 田邊 康史, 倉爪 亮, 長谷川 勉, "Partly Locality Sensitive Hashing を用いた画像列からの高頻度パターン抽出", 第13回画像の認識・理解シンポジウム, 2010年8月24日, 釧路(北海道)
- ⑦ 小川原 光一, 田邊 康史, 倉爪 亮, 長谷川 勉, "部分的に局所性の高いハッシュ関数を用いた頻出運動パターンの効率的な抽出法", 第15回ロボティクスシンポジウム, 2010年3月16日, 吉野(奈良)
- ⑧ 松尾 幸治, 小川原 光一, 倉爪 亮, 長谷川 勉, "部分空間分離に基づく関節構造を持った物体の運動と形状の推定法", 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会, 2010年1月22日, 左京区(京都)
- ⑨ Koichi Ogawara, Yasufumi Tanabe, Ryo Kurazume, Tsutomu Hasegawa, "Detecting Repeated Motion Patterns via Dynamic Programming using Motion Density", 2009 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA), 2009

年 5 月 15 日，神戸(兵庫)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小川原 光一 (OGAWARA KOICHI)
九州大学・工学研究院・特任准教授
研究者番号：70452810