

## 多種視覚情報処理の協調に基づく能動的トラッキングと

3K-5

### マニピュレータ行動との統合

納谷太 森啓 平松薫 大里延康

NTTコミュニケーション科学研究所

#### 1. はじめに

近年、ハードウェア技術の進歩により、静止画像処理の高速化のみでなく、トラッキングビジョン[1]などに代表されるように、動画像を用いたビデオレートでの特徴追跡処理やオプティカルフロー処理が実現されるなど、多様な視覚情報が利用できるようになってきている。これらの複数の視覚情報を用いたロボット制御では、視覚処理をどのように組み合わせるかが、各々の情報を相互に補完することによる精度向上だけでなく、制御に必要な特徴量を効率よく抽出するためにも重要である。

そこで本稿では、多種の視覚情報処理の構造を柔軟に制御する枠組として、マルチエージェントの概念を導入する。特に、静止画像上での局所的な特徴抽出と、動画像を用いた特徴追跡とを自律エージェントとして構成し、タスクの局面ごとに必要となる特徴を柔軟かつロバストに追跡する能動的トラッキングを提案する。また、本手法を用いたタスクとして、任意形状ペグ挿入を例に、マルチエージェントによる視覚と行動の統合を目指した制御アーキテクチャについても述べる。

#### 2. 能動的トラッキング：特徴抽出と特徴追跡の協調

ここではマニピュレータの手先にカメラが取り付けられたハンドアイシステムを用いる。例として、ペグ挿入における特徴追跡処理について述べる。図1は、ペグを把持した状態でのカメラからの画像と、その画像上での特徴抽出および追跡処理の様子を示したものである。カメラからの画像は、静止画像処理ボードと動画像処理ボード(トラッキングビジョン)の双方に送られる。静止画像処理エージェント群は、エッジ抽出、線画素抽出、交点抽出、形状認識エージェ

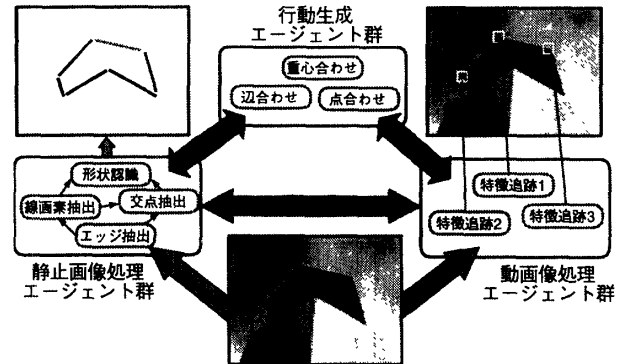


図1: 視覚処理エージェント群の協調による特徴追跡

ントからなる。エッジ抽出、線画素抽出処理は、把持しているペグと対応する穴を含む画像領域に対して数百msec～数secの時間間隔で行われる。交点抽出および形状認識エージェントは、線画素成分をグルーピングすることにより、直線、円弧などの連結性や多角形など、より高次の特徴を抽出する。どのような特徴を抽出し追跡するかは、その時点で注目する特徴に応じて行動生成エージェントによって決定される。例えば、辺合わせエージェントは、辺の構成要素である端点を追跡する特徴追跡エージェントを画像の見えに応じて動的に生成する。特徴追跡エージェントは、トラッキングビジョンの局所相関処理によりビデオレート(1/30sec)での追跡処理が可能である。しかし、特徴領域の回転については対応していないため、辺合わせエージェントにおいて、端点間の幾何学的な制約関係と、マニピュレータ自身の動きから外挿した特徴点の移動量の予測値を用いて追跡領域座標を更新する。

個々の特徴追跡エージェントは、相関処理による誤差が設定された閾値以上になった場合、それを起動した行動生成エージェント(ここでは辺合わせエージェント)に対して追跡処理が失敗したことを報告する。その際、辺合わせエージェントは、エッジ抽出エージェントに対して特徴領域を拡大した領域で処理するよう要求し、追跡領域の再評価が行われる。

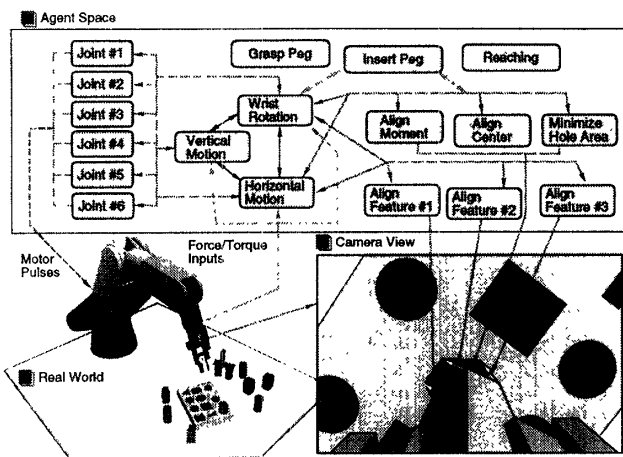


図 2: 任意形状ペグ挿入タスクのためのエージェントアーキテクチャ

### 3. マルチエージェントに基づく視覚と行動の統合

上述の能動的トラッキングを用いたタスク例として任意形状ペグ挿入を取り上げる。図 2 に任意形状ペグ挿入タスクのための視覚行動統合アーキテクチャを示す。このタスクの目的は、ペグや台座の穴などの幾何学的形状モデルを予め与えずに、視覚情報を用いてペグを対応する穴に挿入することである。幾何学的形状モデルを与えないことは、1) 任意の形状のペグにも対応できること、2) マニピュレータや台座が動くことによって環境が変化した場合でも、局所的な特徴だけを用いて行動できること、という2つのロバスト性を確かめる意味を持っている。

ペグ挿入タスクは、1) 挿入するペグを選択し、2) ペグに近づき、3) ペグを掴み、4) 対応する穴に近づけ、5) ペグを挿入する、という大きく5段階のサブタスクに分割することができるが、ここでは、特に最終段階である 5) のペグを挿入するサブタスクに焦点を絞る。また、タスクを簡単にするため、マニピュレータの動作をペグを台座に対して常に垂直に保つように制約を与える。これにより、マニピュレータの動作は、1) 台座に対して水平方向の並進運動 (Horizontal Motion)、2) 台座に対して水平方向の回転運動 (Wrist Rotation)、3) 台座に対して垂直方向の並進運動 (Vertical Motion) という3つの動作に分ることができるので、それぞれを運動生成エージェントとして構成する。

能動的トラッキングによって得られる特徴座標は、辺合わせや点合わせなどの特徴合わせエージェント群 (Align Feature) に与えられ、各々のエージェントは独立に上述の3つの運動ベクトルを生成する (図 3)。

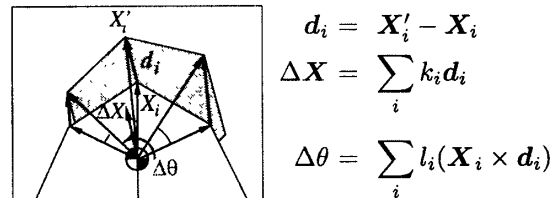


図 3: 特徴点に基づく運動ベクトル生成

ここで  $X_i$ ,  $X'_i$  は、それぞれペグ重心座標から注目しているペグの特徴点および、対応する穴の特徴点までのベクトルであり、 $d_i$  はその距離ベクトルである。また、 $k_i$ ,  $l_i$  は各特徴合わせエージェントの活性値に応じて決定されるゲインである。

複数の特徴合わせエージェントからの視覚座標系上での運動ベクトルは、上述の3つの運動生成エージェントによって合成され、最終的に6つの関節角制御指令に変換される。本方式により、対象の全体的なモデルが得られない場合でも、その時点で抽出可能な局所的な特徴量を用いてマニピュレータを動作させることが可能である。

### 4. おわりに

複数の視覚処理エージェントの協調による能動的トラッキングを提案した。また、各画像特徴から直接マニピュレータ行動を生成する特徴合わせエージェントを構成し、任意形状のペグ挿入タスクを例に、視覚と行動を統合した制御アーキテクチャを提案した。今後、力覚情報を採入れたよりロバストな挿入戦略について検討していく予定である。

### 参考文献

[1] 井上, 稲葉, 森, 立川, "局所相関演算に基づく実時間ビジョンシステムの開発", 日本ロボット学会誌, 13(1), pp. 134-140, 1995.  
 [2] 納谷, 森, 大里, "マルチエージェント制御ロボット実験系の構築", 1996年信学会総合大会, D-168, 1996.  
 [3] Mori, A., Naya, F., Osato N. and Kawaoka, T., "Multiagent-Based Distributed Manipulator Control", MFI'96, pp. 289-296, 1996.