学術論文

複数注視点の協調に基づく動物体の視覚追跡

森 武 俊* 稲 葉 雅 幸* 井 上 博 允*

Object Tracking based on Cooperation of Multiple Attentions

Taketoshi Mori*, Masayuki Inaba* and Hirochika Inoue*

This paper describes a method to track moving objects with multiple cooperative visual attention windows. The method is based on an implementation of transputer-based multi-processor vision system with a correlation processor. The vision system provides a large number of attention windows, each of which can be tracked using fast correlation operation performed in a special LSI MEP. On the top of the system, we built a software manager which enables to program image processing, motion control of a window, and cooperative control of windows. The cooperation is achieved using constraints, which have tree-structure, between windows. Cooperation of multiple attentions enables to track structured objects in natural scene. As examples, human arm tracking and passing car tracking are shown.

Key Words: Object Tracking, Cooperation of Multiple Attentions, Correlation Operation, Multi-Processor Vision System, Constraint-based Cooperation

1. は じ め に

物体運動の視覚追跡においては、時系列の連続画像から対象の動きを検出する必要がある。変形する物体、可動構造を持つ物体の追跡や、幾何学的な制約条件などによって軌道が予測できる対象の追跡においては、部分部分を個々に独立に注視して追跡するのではなく、物体の構造や動きの知識を用いて、複数の対象の追跡の協調によって全体の追跡をよりロバストに行うことができると考えられる。

従来より、複数箇所を追跡し、それらの間に制約条件を付して、全体として安定した追跡を行わせる手法が研究されている。Loweらは、対象のモデルに基づいて求まる制約条件を付加して線分追跡を行っている[1]。また、Active Contour Modelを用いた滑らかな曲線の追跡などの例もある[2][3]。これに対し、本研究は、注視点追跡に基礎をおく構造化ウィンドウ[4]の手法を拡張するものである。複数の注視点間に幾何学的な制約条件を付与することにより、それらの協調によって全体として対象動物体を安定に追跡する。この手法においては、個々の点の追跡の信頼性と、複数点の協調のための制約条件の設定が課題となる。

本研究では、特徴照合法（[5]～[7]など）を用いて個々の点の追跡を行う。特徴照合法で問題となるのは、対象の同定であるが、本研究では、これに濃淡画像の相関演算を採用する。相

関に基づく対応は従来より広く使用されてきており、対象の見え方が著しく変わったり、変形したりする際に問題となることが指摘されている。しかし、本研究では時空間勾配法で導入される連続する画像間で物体の運動は微小であるという仮定をとりいれ[8]、対象の同定を局所領域における相関演算で行うことによって解決した。相関演算を用いることにより、二値化画像の重心を追跡する場合[4][9]などに比べ、ロバスト性を向上させることができる。

複数点の協調の課題については、変形する物体や軌道の制約された物体の位置を予測するために、複数の注視点の間に制約を課し、全体として安定に追跡する。本研究では、相関演算において、追跡点近傍で得られる相関値の分布を利用して、各点の追跡信頼度を求め、それに応じて、追跡制御や協調制御のための制約条件の設定を切り替えることによって安定な追跡を行う手法を実現した。

ロボットビジョンでは注視する対象を意識した処理が重要であり、視野全体にわたる均一画像処理よりも、注目部分の局所処理の組み合わせの方がより有効である。そこで、本研究では、ロボットの視覚タスクを局所注視領域の処理を並列に行う多数の注視エージェントの協調によって遂行する手法を局所相関演算に基礎を置く複数並列プロセッサ型視覚ハードウェアにインプリメントし、注視領域における画像処理、追跡処理、複数注視領域の協調制御を実現した。

本論文では、まず、複数注視点の協調に基づく物体追跡の考え方について説明する。続いて、注視処理に基づく物体追跡のために開発したロボット用視覚処理ユニットとそれを複数使用

原稿受付 1994年12月16日

*東京大学工学部

*Faculty of Engineering, University of Tokyo

した並列プロセッサ型システムについて述べる．さらに，局所相関演算に基づく注視処理および個々の点に注目した追跡制御手法について説明する．そして，個々の点の追跡信頼度に基づく複数点間の制約条件の設定と，構造制約に基づく複数注視領域の協調による動物体の視覚追跡の手法について述べ，具体的な追跡実験例を示す．

2. 注視点追跡に基づく視覚処理

本研究では，ロボットの視覚を複数の注視領域を並列に処理する注視エージェントの協調作業によって実現するというモデルに基づいて構築する．おのおののエージェントは，担当する対象の画像領域を注視し，その限定された領域のみを処理して，他のエージェントと相互作用して全体として視覚タスクを実行する．

2.1 注視エージェントにおける追跡処理

注視エージェントは，それぞれが以下のようなループを繰り返し実行し，全体として動物体追跡を行う．(1) まず割り振られた特徴抽出画像処理 (FEXT)，特徴抽出の信頼度評価と (REST)，それに基づく特徴点決定 (FDET) を行う．(2) 続いて，自分を統制・制約する別のエージェントへ現況を報告し (CONR)，制約に関する情報を受けとり (COND)，信頼度に基づいた判断を行う．(3) さらに，自分の現況と受けとった制約情報に基づいて次の瞬間における注視位置を計算し (ACAL)，注視点を移動する (AMOV)．(4) 最後に同一対象を追跡している他のエージェントとの間で同期をとった (GSYN) 後，1 へ戻る．

Fig. 1 に各注視エージェント内部の処理のフローを示す．HCMD では，人間からのホストコマンドの解釈を行う処理を行っている．

2.2 注視領域における視覚処理と信頼度評価

複数の注視領域を並列に処理して，環境の変化の監視，動物体追跡を行う際には，注視領域内での特徴点の検出処理が重要となる．本研究では，注視ウィンドウと呼ぶ注視領域を，矩形領域としてとらえている．各ウィンドウの位置，寸法，画像再

サンプリング分解能などのパラメータは独立に設定することができる．ウィンドウにおける特徴抽出は，ウィンドウ内の画像を再サンプリングもしくは平滑化縮小した画像について行う．

従来は，画像の二値化，エッジ抽出などを行い，それらの重心，図心などを特徴点としていたが，これらの手法は，閾値決定が困難で，ノイズや照明条件，背景などに敏感であるという弱点があり，整備しない環境で動物体の視覚追跡実験などを行うのは困難であった [4]．

本研究では，これに代えて，濃淡画像の相関演算によって特徴抽出処理を行い，相関度の最も高い点を特徴点とする手法を採用した．この手法は，対象物体の認識を行わずにロバスト性が保証されるという点で非常に有効である．また，相関演算に基づく追跡においては，二値化画像の重心追跡などと異なり，相関値分布を用いて個々の点の追跡のための特徴抽出の信頼度を求めることができる点が重要である．相関値分布に基づく追跡信頼度に応じて，協調のための制約条件の設定を変更することが可能となる．

2.3 複数注視点の構造制約に基づく協調

変形しながら運動したりする対象の追跡は，複数の注視ウィンドウを協調制御することによって，全体としてロバストに行うことが可能となる．このために，ウィンドウ間に対象の物理的・幾何学的構造に基づく制約条件を付加し，それぞれのウィンドウでは対象の一部分を追跡しつつ，対象全体を追跡する．

複数の注視ウィンドウを個々に独立した特徴点追跡をしつつ，ウィンドウ間で制約条件の通信を行って構造化することによって，変形しながら運動するような対象でも，安定して追跡することが可能になる [4] [10]．これは，変形物体の構造に関する知識に基づいた，一種のモデルベーストラッキングととらえることもできる．

3. 高速相関演算を行う並列プロセッサ型視覚システム

複雑な背景下でも視覚追跡を行うため，これまでトランスピュータをプロセッサとし，SGS-THOMSON の画像圧縮用 LSI である Motion Estimation Processor (以下 MEP [11]) を利用して高速相関演算を行う視覚処理システムを開発してきた [12]．本研究では，複数の注視領域を扱う柔軟性，並列化などの拡張性と，全体としての処理速度を高める目的で，この視覚処理システムのイメージフレームメモリボードと相関演算処理ボードを統合して 1 枚の VME ダブルハイトサイズのボードに収めた視覚処理ユニットを開発した [13]．

1 枚のユニットは，最大 20 個程度の注視領域に対する局所相関演算をフレームレートで処理することが可能である．複数のユニット間で画像入出力をカスケード結合することによって濃淡 8 [bit] のデジタル画像のパイプライン処理，バス結合することによってブロードキャストされたデジタル画像の並列処理が可能である．このユニットのイメージ入力をバス結合し，マルチウィンドウ視覚システム [9] のような複数の注視領域を並列に処理するシステムを構成し，実験を行った (Fig. 2)．

視覚処理ユニットは，画像の局所領域における相関度を本来画像圧縮用 LSI である MEP を使用して高速に求められること

Fig. 1 Tracking process in an agent

Fig. 2 Configuration of the hardware system

を特徴とする。このユニットで、画像 I_1 中の 16×16 のある矩形画像 R (Reference block) が、画像 I_2 (I_1 と同じでもよい) 中の 32×32 の領域 S (Search Window) のどの部分 C (Candidate block) と相関度が高いかを求める処理を $1.5[\text{ms}]$ 以内で行うことができる。MEP は、ブロックマッチングに以下の式、

$$\text{Corr}_{i,j} = \sum_{m=0}^{15} \sum_{n=0}^{15} |R_{m,n} - C_{m,n}| \quad (1)$$

を使用し ($C_{m,n} = S_{m+i,n+j}$)、 S 内の 16×16 の可動領域について得られる相関値の分布

$$\text{Corr}_{\text{dist}} = \{\text{Corr}_{i,j} | -8 \leq i, j \leq +7\} \quad (2)$$

と最小値、

$$\text{Corr}_{\min} = \{\min(\text{Corr}_{i,j}) | -8 \leq i, j \leq +7\} \quad (3)$$

を高速に計算する。この $\text{Corr}_{i,j}$ は相関値といい、小さいほど相関度が高いことを意味する。

このような相関演算機能を利用すると、実時間視覚追跡のほか、オプティカルフロー生成、両眼立体視による三次元運動の視覚追跡、デプスマップ生成などを行うことも可能である。

ユニット間は、トランスピュータのシリアルリンク ($10[\text{Mbps}]$) によって結合し、これを介してユニット間で画像データ、注視領域の位置情報などを通信する。

4. 複数注視ウィンドウの管理

システムでは、1枚のユニットで、最大20個程度の注視ウィンドウをフレームレートで処理することが可能であるが、ウィンドウ内での他の画像処理、追跡処理などをソフトウェアで行うことを考慮し、1枚のユニットで扱う注視ウィンドウは16に制限することとした。複数のウィンドウ間の協調制御を行う際には、通信などに時間がかかるため、1枚あたりのウィンドウ数はさらに制限される。注視ウィンドウは、視覚処理ユニット番号とユニット内のウィンドウ識別番号で管理する。

Fig. 3 Software configuration of multiple attentions manager

複数注視点のマネージャは、Fig. 3のような構成である。視覚処理ユニットのトランスピュータ上では、ユニット間のルーティング処理を行うプロセス (Router) と、画像処理や追跡処理などを行うプロセス (Track) が並列に走っている。データの表示 (Disp.) は、ホストに最も近い視覚処理ユニットで集中的に行っている。これは、追跡処理の GSYN 時に各注視エージェントから情報が送付される。注視ウィンドウの初期位置指定、テンプレート画像の取り込み指示などは、ホスト内のルートトランスピュータ上のユーザインタフェースプロセス (Manage) を介して行う。ルーティング処理を行うプロセスを交換すれば、ホストに複数の視覚システムが継っている場合、視覚処理ユニットが格子結合している場合などにも対応することができる。

一つのユニット内における注視ウィンドウ間のパラメータの通信は、トランスピュータの共有メモリを介して行う。一方、ユニットにまたがる注視ウィンドウ間のパラメータの通信は、トランスピュータのシリアルリンクを介して行う。各ユニット上のルーティング処理プロセスは、送付元、送付先とデータサイズ、データへのポインタを与えれば、自動的にデータを配送するようになっている。また、上位プログラムとのインタフェースのためのデータ、画像データなども、同様の通信によって配送する。

5. 局所相関演算に基づく特徴抽出処理 (FEXT, REST, FDET)

インプリメントしたシステムでは、3章で述べたような手法の相関演算を MEP を使用して高速に行うことができる。MEP による相関演算は、対象が画面内で回転するような場合のブロックマッチングには対応していないので、テンプレートをトランスピュータによる演算でソフトウェア的に回転・拡大縮小することによって、回転・前後運動する対象の特徴点の検出を行う [14]。

5.1 局所相関演算に基づく追跡処理

追跡処理は、あらかじめ、追跡対象の初期位置、寸法、再サンプリング分解能を指定し、相関演算におけるブロックマッチングのためのテンプレート画像を取り込んでおいた後、次の手順で行っている。

- (1) MEP を使用して注視ウィンドウの近傍局所領域を探索し、テンプレートと最も相関度の高い領域の位置を得る。
- (2) テンプレート画像を計算で回転・拡大縮小して同様の処理

Fig. 4 Snapshot of basic tracking

Fig. 5 Example of distribution of correlation value

を繰り返す（現在の回転角 $\pm\theta$ の範囲のみ， ϕ 刻み．かつ現在の拡大率 $\pm\alpha$ の範囲のみ， β 刻み．例えば， $\theta = 10^\circ$ ， $\phi = 5^\circ$ ， $\alpha = 0.2$ ， $\beta = 0.1$ ）．

- (3) 以上の処理で，最も相関度の高かった位置を特徴点とする．
- (4) 注視ウィンドウの回転角・拡大率パラメータ（現在の回転角・拡大率）を更新する．

Fig. 4 に視覚追跡中の画像を示す．画面左中央の白枠が現在の追跡対象の位置を示す注視ウィンドウである．画面左上に表示されているのが追跡のテンプレート画像である．画面右上には，その瞬間における相関値分布 $Corr_{dist}$ を表示している．

5.2 局所相関演算の信頼度評価

特徴抽出は必ずしも成功するとは限らないので，特徴点の検出の成否に応じて，以降の処理を切り替えることが重要である．これは，例えば，処理中に対象が近傍局所領域からなくなってしまった場合，障害物に隠れてしまった場合，照明条件が極端に変わった場合などに生じる問題である．

相関演算による特徴点検出を行う場合には，信頼度の評価に MEP によって得られる相関値分布 $Corr_{dist}$ を使用する．このための評価関数として，

- 最小相関値 $Corr_{min}$
- 相関値分布 $Corr_{dist}$ の平均 $Corr_{mean}$ と最小相関値 $Corr_{min}$ の比
- 相関値分布内における小相関値の凝集度
- 最小相関値 $Corr_{min}$ 近傍における曲率に基づくもの

などがある．Fig. 5 に，相関値分布 $Corr_{dist}$ の例を示す．この例では，(0, 0) で相関値が最小になっていて，相関が最も高かったことを示している．他の場所での値に比べて $Corr_{0,0}$ はかな

り小さく，先鋭になっており，特徴抽出処理が成功したと判断することができる．

9 章で述べる実験においては，相関値分布 $Corr_{dist}$ の平均 $Corr_{mean}$ と最小相関値 $Corr_{min}$ の比 (r_{corr}) を用いた．

6. 注視ウィンドウの制御 (ACAL, AMOV)

動物体の視覚追跡は，現在の注視領域近傍を探索して特徴点を検出し，それを追跡対象に最も対応するものとして，次の注視点をそこに移動するという処理の繰り返しと考えることができる．特徴抽出に相関演算を用いる場合には，近傍局所領域の中で最も相関度が高い点を次の注視点とすることで視覚追跡が実現できる．

本研究においては，対象物体の追跡に以下のような制御方式を使用している [4]．

$$P_{t+1} = P_t + g(F_t - P_t) + on \quad (4)$$

$$P_{t+1} = P_t + off \quad (5)$$

ここで， P_t ， P_{t+1} は，それぞれ時刻 t ， $t+1$ における注視ウィンドウの位置（注視点）， F_t は t における特徴点の位置である． on は特徴点の検出に成功した際の， off は失敗した際のオフセットベクトルである．相関による特徴抽出を用いる場合，特徴点は常に注目物体の同じ箇所にあることが期待できるので， on ， off とも通常は零ベクトルとしている．また， g は，ゲインで，通常 1.0 であるが，高速な運動を行う物体を追跡する際にはより大きな値とする．

7. 注視エージェント群の時刻情報管理 (GSYN)

個々に独立した追跡処理を行う注視エージェント (Fig. 1) においては，FEXT 処理を行う際の情報の時刻管理が重要な問題となる．

注視エージェントを互いに協調させて，全体として構造物など同一の対象の追跡を行うためには，同一対象を処理しているエージェント同士では同一時刻の情報処理を行う必要がある．そこで，本研究では，同一対象を追跡している注視エージェント群をグループにまとめ，各グループ内では同一時刻情報に基づいて同期して処理を行い，別グループ間では，より新しい情報に基づいて処理を行うために非同期に独立した処理を行っている．

具体的には，同一グループに属する注視エージェントは，GSYN において表示を行うユニットにその時刻における各エージェントの情報を送付した後，ハードウェアシステムから得られる画像の垂直同期信号を単位とする時刻情報を用いて，グループ内の同期処理を行い，次時刻の処理を開始している．

8. 複数ウィンドウの協調制御 (CONR, COND)

8.1 ウィンドウ間制約に基づく協調制御

注視ウィンドウは，自身のフィードバックと他ウィンドウとの協調ルールを与えることによって制御する．制約条件として，(1) 参照点（絶対座標，他ウィンドウ，あるいは複数のウィンドウにより定まる点）と (2) 制約モード (Fig. 6) を与える．

Fig. 6 Motion constraint modes of windows

注視ウィンドウに加える制約条件は、特徴点検出の成否によって切り替えることができる。対象によっては、複数のモードを組み合わせた追跡を行う。

ここで、例として、距離制約について説明する。与えられた最大制約距離を $D_{\max}$ 、最小距離を $D_{\min}$ 、参照点となる、ある注視ウィンドウ w_0 から制約されるウィンドウ w_1 までのベクトルを d とすると、最大制約の場合は $|d|$ が $D_{\max}$ より大きい場合、最小制約の場合は $|d|$ が $D_{\min}$ より小さい場合に、特徴抽出処理の成否に応じて、 w_1 のオフセット on , off をそれぞれ、

$$on = s \left(\frac{D}{|d|} - 1 \right) d \quad (6)$$

$$off = \vec{0} \quad (7)$$

と定める (D は最大制約の際 $D_{\max}$ 、最小制約の際 $D_{\min}$)。これを追跡の制御式に代入することにより次時刻における注視点を決する。 s は、参照点 w_0 の信頼度と制約されるウィンドウ w_1 の信頼度からある評価関数によって定まる値である。実験では、相関値分布 $Corr_{\text{dist}}$ の平均 $Corr_{\text{mean}}$ と最小相関値 $Corr_{\text{min}}$ の比 r_{corr} を信頼度とし、 s を単純に 1 としてオフセットを求めている。

8.2 協調制御のための制約条件の伝達

制約条件の伝達は、参照点となる注視ウィンドウ w_0 から制約対象の注視ウィンドウ w_1 へウィンドウパラメータと制約モードを送付することによって行う。制約を受ける注視ウィンドウ w_1 は、自身の独立した特徴点検出処理の後、制約条件に基づいて注視点の移動を行う。ユニットにまたがる追跡ウィンドウ間の協調制御のためには、複数の注視ウィンドウ間の通信を行う必要がある。これは、マネージャのルーティング処理プロセスを介して行うが、ユニット内における通信に比べてコストがかかるため、通常は多くの場合、複数のウィンドウのグループ間の制約条件の伝達のみを行うようにしている。

8.3 制約条件と参照点の変更

注視ウィンドウの制約条件と参照点は、追跡処理の途中に柔軟に変更することも行う。これは、あるウィンドウ w_1 の参照点である別ウィンドウ w_0 の追跡の信頼度が非常に低くなったために参照点として使用できなくなった場合などに行う。例えば、 w_0 を参照点として w_1 が距離制約されていた場合、 w_0 の特徴抽出信頼度が極端に下がった場合には、この関係を、 w_1 を参照点として w_0 が距離制約されるように交換する。

9. 注視領域の構造化による物体追跡

9.1 可動構造物の追跡実験：人間の腕の追跡と形状認識

人間の腕をリンク構造とみなし、肩、肘、手先の 3 点における相関演算による特徴点検出を使用して、単純でない背景のもとで追跡する実験を行った。

注視ウィンドウの初期位置、寸法 (48×48 、ただし処理には間引いた 16×16 の画像を用いる)、画像再サンプリング分解能 (縦 3、横 3) は人間が指示した。追跡時のテンプレートの回転計算は 2 度おきに ± 10 度の範囲で行った。テンプレートの拡大縮小計算は行っていない。Fig. 7 左に追跡のための注視ウィンドウの配置と制約条件を示す。Window1 は Window0 から上腕の長さ程度の範囲内 (DC)、Window2 は Window1 から前腕長程度の範囲内 (DC) になるよう制約条件を与えた。さらに、Window2 と Window1 を結ぶ直線 (前腕) は、上腕の向きから 180 度以内になるような制約条件 (OC) を与えた。

このような場合、マルチウィンドウ視覚システム [9] においては、特徴点としてリンク構造のジョイント部に配置したウィンドウの領域の重心を用いていた。この実験で考えると、Window1 は Window0、Window2 は Window1 からの相対ベクトル向きにオフセットベクトルを設定して、ジョイント部に安定するようにしていた。さらに、リンク長 $\pm \alpha$ の距離制約を受けるように設定し、各ウィンドウが注視点から大きくずれないようにしていた [4]。

一方、特徴抽出に相関演算を使用する場合には、検出された特徴点そのものを基本的には次の注視点とすることができる。すなわち、相関演算を用いた場合の制約条件の付加は、マルチウィンドウ視覚システムの場合と異なり、各点の追跡の信頼度が常に十分高ければ不要なものである。しかし、実際にはしばしば誤対応が生じるため、次の探索範囲を制約することによる誤対応の軽減という追跡信頼度向上の意味で制約条件を導入する。また、追跡対象の構造に関して既知であるので、各注視点はその幾何学的構造に従うように制御するという物理的意味も有する。

実験では、相関値分布 $Corr_{\text{dist}}$ の平均 $Corr_{\text{mean}}$ と最小相関値 $Corr_{\text{min}}$ の比 $r_{\text{corr}} = Corr_{\text{mean}} / Corr_{\text{min}}$ を信頼度としている。 r_{corr} が高い場合は、 $Corr_{\text{min}}$ が 2000 程度、 $Corr_{\text{mean}}$ が 10000 程度である。一方、 r_{corr} が低くなった場合には、 $Corr_{\text{min}}$ が 6000 程度、 $Corr_{\text{mean}}$ が 12000 程度となる。そこで、信頼度 r_{corr} の値が 4.0 を越える場合は、その点の追跡処理が信頼できるとし、3 点のうち最も信頼度の高い点を基準となる参照点として、残る 2 点はそれから制約されるように協調制御を行った。

腕の構造を与えずに、3 点を独立して追跡させた場合には、

Fig. 7 Structure and constraint change in arm tracking

Fig. 8 Snapshot of passing car tracking

個々の相関演算に基づく特徴抽出の信頼度が低くなって注視点が対象からはずれてしまうと、注視ウィンドウが注視対象を再捕捉することはまれである。ウィンドウ間を協調制御することで、安定して腕の関節部分に割り当てた三つのウィンドウが注視点からはずれることなく安定して追跡を続けた。回転テンプレートの生成、ウィンドウ間の協調処理を含めて 50 [ms] で追跡処理が完了する。Fig. 7 中・右に腕の追跡実験の様子を示す。各点の追跡信頼度が変わったため、中図と右図で、制約条件（参照の親子関係）が切り替わっている。中図においては肩が親となっており、右図では手先が親となっている。

9.2 出現位置と軌道の予測実験：追越車両の発見と追跡

高速道路において、右側車線を追い越していく車両を追跡する実験を行った (Fig. 8)。これは、対象の位置を制約に基づく協調によって予測しながら追跡する例である。

Fig. 9 に追跡のための注視ウィンドウの配置と各ウィンドウに付与した制約条件を示す。

この実験では、左車線左側の白線上で 2 箇所 Window0 と Window1 を制約なしで追跡し、道路の幅に関する知識を利用して、それぞれの点から画面上で水平直線上 (SC) かつ一定距離範囲内 (DC) という制約のもとで、車線間の白線 (Window2

Fig. 9 Structure used in passing car tracking

と Window3) を追跡している。この 4 ウィンドウによって、左車線の範囲がほぼ定まる。

車線間の白線を追跡する二つのウィンドウで定まる直線より一定距離・角度離れた直線を再び SC, DC を利用して生成しておき (Pos2' と Pos3')。これは注視ウィンドウではなく単なる位置ウィンドウなので、実験画面には生成した直線のみを表示)、右車線上で新たに画面に急激な変化が生じた際には、その部位を追越車両とみなしテンプレートとして取り込み、その直線上に拘束 (SC) して追跡処理を行う (Window4)。追跡の信頼度は高いが位置が大きく左車線によって来ている場合には、左車線に侵入しようとしているとみなして対処するなどの処理も可能となると考えられる。

Fig. 8 の下部に示された五つの白正方形の画像は左からそれぞれ Window 0 から Window4 の追跡テンプレートである。追跡処理は、拡大・縮小テンプレートの生成 (Window4 のみ五通りのテンプレートを生成) とウィンドウ間の協調処理を含め、18 [ms] で完了する。

道路に関する知識なしに車線間の白線を追跡したり、追越車両を追跡したりすることは、背景との混同やノイズの影響によって非常に困難であるが、道路のモデルに基づいた幾何学的制約条件の導入により、白線の途切れなどに耐え安定して追跡処理を行うことができた。

10. お わ り に

複数の注視領域における局所相関演算を高速に処理する能力を持つ並列プロセッサ型視覚システムを開発し、複数注視点の協調による動物体の視覚追跡実験を行った。

物体追跡を安定に行うため、従来のマルチウィンドウ視覚システムにおける二値化画像の重心を利用した手法に代え、演算の結果、特徴点が特徴抽出の信頼度とともに得られる相関演算に基づく手法を開発した。さらに、個々のウィンドウの相関に基づく追跡が失敗しても、全体として対象を追跡し続けることができるように、制約条件を課して構造化したウィンドウ間の協調制御を行う手法を開発した。

以上の手法を並列プロセッサ型視覚システムに実際に実装し、複数の視覚処理ユニットで入力画像データを共有してユニット間で注視点を分担することによって、処理の高速性と柔軟性を両立させることが可能となった。このシステムを使用して、複数注視点の協調に基づく視覚追跡の重要な例として、可動構造物の追跡と軌道が制約された物体の追跡という2つの実験を示した。

今後の課題として、現在人間が指示している対象の注視点の選択の自動化があげられる。これは、注視ウィンドウ内の特徴抽出の信頼度が高くなるような点を探索することによって可能になると考えられる。複数の視点からの入力画像に基づいてウィンドウ間に生じる、両眼立体視におけるエピソード制約などのような物理的な制約条件の自動付加を行うことも必要であると考えられる。

本論文では、同一対象を追跡する注視エージェント群をグループにまとめ、グループ間では非同期処理、グループ内では同期処理を行う方式について述べたが、グループ内のエージェントがおのおの非同期処理を行う際の制約伝播の形態などは、エージェントモデルにおける興味深い研究課題である。

参 考 文 献

- [1] D.G. Lowe: Perceptual Organization and Visual Recognition,

Kluwer, 1985.

- [2] M. Kass, A. Witkin and D. Terzopoulos. Snakes: "Active contour models," International Journal of Computer Vision, vol.1, no.4, pp.321-331, 1988.
- [3] A.A. Amini, T.E. Weymouth and R.C. Jain: "Using dynamic programming for solving variational problems in vision," IEEE Transaction on PAMI, vol.12, no.9, pp.855-867, 1990.
- [4] 國吉康夫, 稲葉雅幸, 井上博允: "構造化視覚ウィンドウ群による変形物体追跡システム", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '92 講演論文集, pp.613-618, 1992.
- [5] L. Dreschler and H. H. Nagel: "Volumetric Model and 3D-Trajectory of a Moving Car Derived from Monocular TV-frame Sequences of a Street Scene," In Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp.692-697, 1981.
- [6] S. Tsuji, M. Osada and M. Yachida: "Tracking and segmentation of moving objects in dynamic line images," IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.2, no.6, pp.516-521, 1980.
- [7] S.T. Barnard and W.D. Thompson: "Disparity analysis of images," IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.2, no.4, pp.333-340, 1980.
- [8] B.K.P. Horn and B.G. Schunk: "Determining optical flow," Artificial Intelligence, vol.17, pp.185-203, 1981.
- [9] H. Inoue and H. Mizoguchi: "A flexible multi window vision system for robots," In Proceedings of Second International Symposium on Robotics Research, pp.95-102, 1985.
- [10] 森武俊, 稲葉雅幸, 井上博允: "局所相関演算機能を有する並列プロセッサ型ビジョンシステムにおける複数注視点の協調制御による物体追跡", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '93 講演論文集, pp.212-217, 1993.
- [11] SGS-THOMSON Microelectronics: "STI3220 motion estimation processor," In Image Processing Data Book, pp.115-138. SGS-THOMSON Microelectronics, 1990.
- [12] 井上博允, 稲葉雅幸, 森武俊, 立川哲也: "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, vol.13, no.1, pp.134-140, 1995.
- [13] Hirochika Inoue, Masayuki Inaba, Taketoshi Mori and Tetsuya Tachikawa: "Real-time robot vision system based on correlation technology," In Proceedings of International Symposium on Industrial Robots (ISIR), pp.675-680, 1993.
- [14] 稲葉雅幸, 山口英昭, 森武俊, 井上博允: "高速相関演算に基づいた三次元の並進・回転運動の追跡", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '93 講演論文集, pp.238-243, 1993.

森 武俊 (Taketoshi Mori)

1967年9月8日生。1990年3月東京大学工学部機械工学科卒業。1992年3月同大学院工学系研究科情報工学専攻修士課程修了。1992年4月より日本学術振興会特別研究員。1995年3月同大学院工学系研究科情報工学専攻博士課程修了。同年4月より東京大学先端科学技術研究センター助

手。ロボットビジョンシステムとその他のアーキテクチャ、動き認識と動作理解に関心を持つ。視覚を有する知能ロボットのプログラミングについて研究している。電子情報通信学会会員、人工知能学会学生会員。
(日本ロボット学会学生会員)

井上博允 (Hirochika Inoue)

1942年生。1965年東京大学工学部産業機械工学科卒業。1970年同大学院博士課程修了。工学博士。同年電子技術総合研究所入所。知能ロボットの研究開発に従事。1977年東京大学工学部機械工学科助教授。1984年教授。現在、機械情報工学科教授。ロボット全般、人工知能、情報システム工学の

研究と教育に従事。
(日本ロボット学会正会員)

稲葉雅幸 (Masayuki Inaba)

1958年5月23日生。1981年3月東京大学工学部機械工学科卒業。1986年3月同大学院工学系研究科情報工学専門課程修了。工学博士。同年4月東京大学講師。1989年同助教授。現在、機械情報工学科勤務。日本機械学会、情報処理学会、計測自動制御学会、人工知能学会各会員。

(日本ロボット学会正会員)