

分散協調視覚 —研究成果と今後の展望—

松山隆司 (京都大学)

本論文では、1996年度より5年間の計画で開始した分散協調視覚に関する研究プロジェクトにおいて、我々の研究室でこれまでに得られた研究成果の概要と今後の展望を述べる。

分散協調視覚システムでは、有線・無線ネットワークで結ばれた多数の観測ステーション（多自由度カメラ雲台を備えた実時間3次元画像・映像処理装置）や視覚機能を備えた移動ロボットを能動視覚エージェントと考え、エージェント群の協調により、以下の2つの機能を実現することを目的としている。

1. 分散協調型状況理解：空間的に分散配置された能動視覚エージェント群の協調によって、動的に変化する実世界の多様な状況を実時間で把握する。

2. 効果的実時間映像生成：理解の結果得られた状況記述やネットワークを介して得た情報を人間に分かりやすい多様な形態の映像情報として実時間で表現・生成・編集する。

こうした分散協調視覚システムを利用すれば、実時間広域監視・交通管制システムといった広域シーンを対象とした視覚認識システムのほか、対話型遠隔会議・講義システム、対話型3次元立体テレビシステム・知的テレビスタジオ、手術、芸術、スポーツなど高度な身体技能の詳細な映像記録の作成、さらには、移動ロボットや身体障害者の対話的誘導システムや、サッカーなど移動ロボット群によるチームプレイが実現できる。

我々の研究室でこれまでに得られた主な成果としては、多重フォーカス距離カメラ、視点固定型パン・チルト・ズームカメラ、多視点実時間映像撮影用PCクラスタ、ダイナミックメモリアーキテクチャ、照明変化に不変な背景差分法、実時間対象追跡システム、選択的注視に基づく動作認識、移動対象の協同注視システム、身体動作の実時間3次元映像化システム、シナリオに基づく効果的映像撮影システムなどがある。

Cooperative Distributed Vision — Attainments and Future Problems —

T. Matsuyama (Kyoto Univ.)

This paper gives an overview of our research attainments by the 5 years project on *Cooperative Distributed Vision* (CDV, in short). The goal of CDV is summarized as follows. Embed in the real world *Observation Stations* (real time image processors with versatile camera control capabilities) and *mobile robots* with vision, and realize 1. *real time dynamic scene understanding* and 2. *versatile scene visualization*.

Applications of CDV include Real Time Wide Area Surveillance, Remote Conference and Lecture Systems, Interactive 3D TV and Intelligent TV Stadium, Navigation and Guidance of Mobile Robots and Disabled People, and Cooperative Soccer Robots.

Major attainments so far obtained include multi-focus 3D range camera, fixed-viewpoint pan-tilt-zoom camera, PC cluster system for real-time multi-viewpoints imaging, dynamic memory architecture, real-time object tracking system, selective attention for behavior recognition, cooperative moving object tracking by communicating active vision agents, real-time 3D human behavior imaging, senario-based attractive scene visualization and so on.

1 プロジェクトの概要

我々の研究室では1996年度より5年間の計画で分散協調視覚に関するプロジェクト研究を行っている¹。分散協調視覚システムでは、有線・無線ネットワークで結ばれた多数の観測ステーション（多自由度カメラ雲台を備えた実時間映像処理装置）や視覚機能を備えた移動ロボットを能動視覚エージェントと考え、エージェント群の協調により、以下の2つの機能を実現することを目的としている（図1）。

1. 分散協調型状況理解：空間的に分散配置された能動視覚エージェント群の協調によって、動的に変化する実世界の多様な状況を実時間で把握する。
2. 効果的実時間映像生成：理解の結果得られた状況記述やネットワークを介して得た情報を人間に分かりやすい多様な形態の映像情報として実時間で表現・生成・編集する。

- 分散協調視覚システムを利用すれば、
- 実時間広域監視・交通管制システムなど広域シーンを対象とした視覚認識システムのほか、
 - 対話型遠隔会議・講義システム
 - 対話型立体テレビシステム・知的テレビスタジオ
 - 手術、芸術、スポーツなど高度な身体技能の詳細な映像記録の作成
- さらには、
- 移動ロボットや身体障害者の対話的誘導システム
 - サッカーなど移動ロボットによるチームプレイの実現が可能となる。

過去4年間の研究により、基本的アイデアの具体化・理論モデルの構築、分散協調視覚システムを構成する基本要素技術の確立、プロトタイプシステムの開発を行い、以下に示すような成果が得られた。ここではこれらの成果の概要を述べるが、詳細な研究内容については参考文献を参照して頂きたい。

2 分散協調視覚の理論モデルの構築

2.1 能動視覚エージェントの機能モデル

本研究では、従来の人工知能研究で用いられてきた

$$\text{知能} = \text{知識} + \text{推論}$$

という図式に代り、外界・他者とのインタラクションに基づく知能のモデル化、あるいは知覚、行動、通信機能の統合による知能の創発という考え方、すなわち

$$\text{知能} = \text{知覚} + \text{行動} + \text{通信}$$

という図式を知能の基本モデルとして提案している [1]。この基本モデルを具体化するために、視覚、行動（カメラ制御）、ネットワーク通信機能を備えた自律シス

¹米国 DARPA では我々と同様の研究を VAM (Video Surveillance And Monitoring) プロジェクトとして行っていたが、昨年 Image Understanding Project の打ち切りに伴い中断されたことについている。

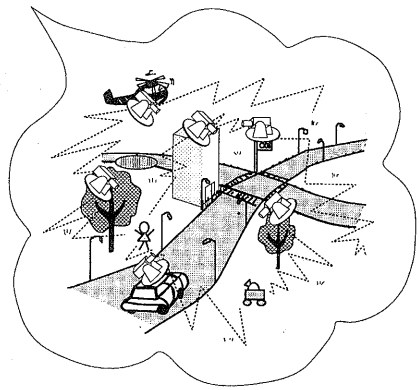


図 1: 分散協調視覚システム

ム（能動視覚エージェント、Active Vision Agent, 略して AVA）の機能モデルを設計し、視覚、行動、通信機能の間の相互関係について検討した。

図2は、AVA が視覚、行動、通信モジュールから構成されると考え、モジュール間の相互依存関係を図示したもので、式として記述すると以下のように表される。

- $Perception_i : Env \times Sate_i \mapsto Percept_i \quad (1)$
- $Action_i : Sate_i \mapsto Sate_i \times Env, \quad (2)$
- $Reasoning_i : Percept_i \times Sate_i \mapsto Sate_i. \quad (3)$
- $Send_i : Sate_i \mapsto Message_j \quad (4)$
- $Receive_i : Message_j \times Sate_i \mapsto Sate_i, \quad (5)$

ここで、 $Sate_i$ は i 番目の AVA の内部状態、 Env は AVA が存在する世界の状態、 $Percept_i$ は AVA _{i} が知覚した Env の状況、 $Message_i$ と $Message_j$ は、通信回線を介してそれぞれ AVA _{i} と AVA _{j} に向けて送られたメッセージを表す。

これら関数モデルは静的な関係を記述したもので、AVA を設計するにはそのダイナミクスを定義する必要がある。上式にダイナミクスを導入するための最も基本的かつ一般的な方法は、時間変数 t を導入することである。たとえば、式 (3) は次式のように拡張される。

$$Reasoning_i(Percept_i(t), Sate_i(t)) = Sate_i(t + \Delta t). \quad (6)$$

しかし、AVA が対象とする実世界の状況は時々刻々と変化するため、知覚、行動、通信モジュールを状況の変化に応じて即応的、適応的に制御する必要があり、そのダイナミクスは式 (6) のような通常の状態方程式ではとても記述できない。特に、モジュール間の非同期的な相互作用の記述は表現不可能といえる。この問題を解決するための方法として、我々は次に述べるダイナミックメモリ・アーキテクチャを提案している。

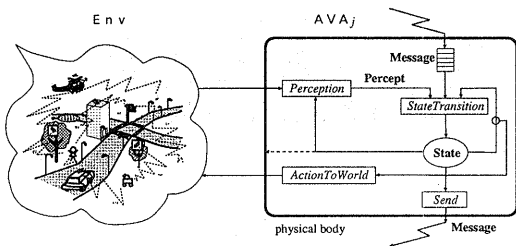


図 2: 能動視覚エージェントの機能モデル

2.2 ダイナミックメモリ：並列プロセスの動的統合機構

AVAが実世界の変化に対して即応的、適応的に動作するには、AVAを構成する視覚、行動、通信の3モジュールをそれぞれ独自のダイナミクスを持つ並列プロセスと考え、それらの間で動的に情報が交換されることによって、AVAの全体的行動が創発されると考えるのが妥当であろう。我々は、こうした複数の並列プロセス間の動的な情報伝達・交換を実現するための一般的機構としてダイナミックメモリ・アーキテクチャという考え方を提案し、プロトタイプシステムによってその実用的有効性を示した[2]。

ダイナミックメモリは並列プロセス間の共有メモリで以下の機能を持つ(図3)。

- メモリに記録される情報は、変数の過去から未来に渡る値の時間的な変化として記録される。言い換えると、変数は時系列データを値として持つ。
- 各並列プロセスは、計測や計算の結果得られたデータを<変数名, 値, 時刻>の組としてダイナミックメモリに書込む。これによって、ダイナミックメモリ内の変数に離散的な時系列データが記録される(図4の黒丸の並び)。
- ダイナミックメモリには、記録された離散的時系列データを基に任意時刻の値を補間する関数や将来の値を予測する関数(図4の実線、破線の関数)、さらには微分 $\frac{dv}{dt}$ 、積分 $\int v(t)dt$ のような時系列データに対する変換関数を定義することができる。
- 並列プロセスは<変数名, 時刻>を指定し、ダイナミックメモリから値を読み出す。その際、読み出しプロセスはデータが書き込まれた時刻とは無関係に任意の時刻を指定することができる(図4の時刻 T_1, T_2, T_3 の値)。ダイナミックメモリは、指定された時刻の値を、記録されている離散的時系列データから補間、予測して返す。

こうした機能を持ったダイナミックメモリを使うと、複数の並列プロセス間でのデータ交換を完全に非同期に行うことができ、同期に伴う待ち時間が全く生じない。このため、ダイナミックメモリは、AVA以外にロボット制御、インタラクティブ・ヒューマンインターフェイスのように実時間性、即応性が重要なシステムの実現に大きな役割を果たす。

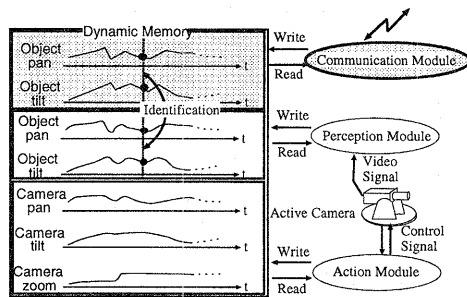


図 3: ダイナミックメモリを用いた視覚、行動、通信モジュールの動的統合

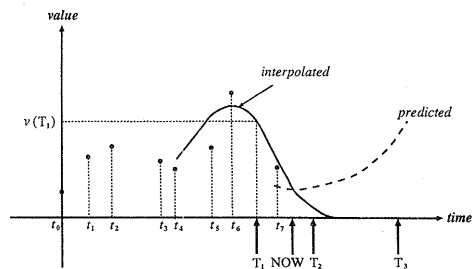


図 4: ダイナミックメモリ内での変数(時系列データ)の表現

3 ハードウェア、ソフトウェア基盤の構築

分散協調視覚システムを実現するには、多様なハードウェア、ソフトウェアが必要である。これまでの研究によって以下のようなハードウェア、ソフトウェア基盤が構築でき、現在、種々のシステム開発に利用している。

- 1 実時間多視点ビデオ映像撮影・処理用 PC クラスタ
超高速ネットワーク Myrinet (1 方向: 1.28Gbps) によって、実時間ビデオキャプチャボードを搭載した 9 台の PC (OS は Linux) を結合した PC クラスタを開発した。図 5 は平成 11 年度に開発した 2 号機システムの構成図で、この装置を使って 9 視点から人間の身体動作を実時間でビデオ撮影しそれを 3 次元映像化するシステムを開発した(詳細は [3][16] 参照)。
- 2 実時間ビデオ映像処理装置の実現
SIMD 型並列ビデオ映像処理装置 IMAP-VISION に対して、以下のソフトウェアを作成した。
 - PC-UNIX (NetBSD および FreeBSD) 用の DMA 転送機能付きデバイスドライバ
 - ビデオレート・オブティカルフロー計算ソフトウェア

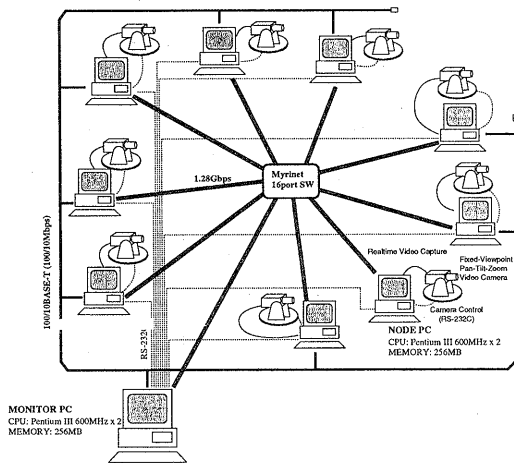


図 5: 実時間多視点ビデオ映像撮影・処理用 PC クラスタ

これらのソフトウェアは、後述する実時間対象追跡システムで使われている。

4 多重画像の統合による多機能高精度視覚センサの開発

フォーカスや視線方向などのカメラパラメータを規則的に変化させながら撮影した多数枚の画像（多重画像）を統合し有効な情報を持った画像を生成する「多重画像の統合」という考え方 [4] に基づき、以下の 4 種類の視覚センサを開発し、その有効性を実験によって示した。

- 1 実時間 3 次元距離画像計測用多重フォーカスカメラ
3 CCD ビデオカメラを改良して、フォーカスの異なる（ぼけの度合の異なる）3 枚の（白黒）画像を同時に撮影できる多重フォーカスカメラを開発した。さらにそのカメラに、空間的な構造パターンを持った開口部（構造化瞳）を設け、得られた多重フォーカス画像（図 6）から 3 次元距離画像（図 7）と、ぼけのない完全合焦画像を求めるアルゴリズムを考案した [5]
- 2 視点固定型パン・チルト・ズームカメラ
視点（投影中心）を固定したまま、視線方向を変化させることができる首振りカメラ（視点固定型パン・チルトカメラ）を用いて全天空全方位パノラマ画像を撮影し、得られた画像を多様な表現で表示するソフトウェアを開発した（図 8）。また、市販の首振りカメラを視点固定型パン・チルト・ズームカメラとして使用するためのカメラキャリブレーションソフトウェアを開発し、対象追跡や 3 次元シーンの映像化に有



図 6: 構造化瞳を通じて撮影された多重フォーカス画像

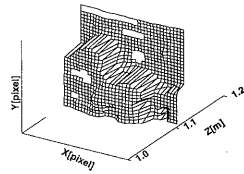


図 7: 計算された 3 次元距離画像

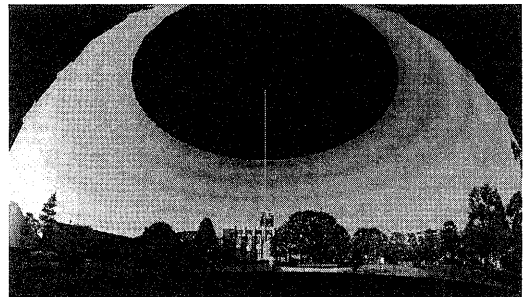


図 8: 全天空全方位パノラマ画像の 3 次元的表示

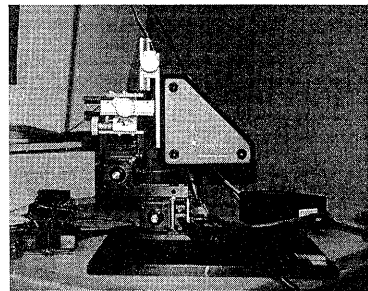


図 9: 視点固定型 3 眼ステレオカメラ

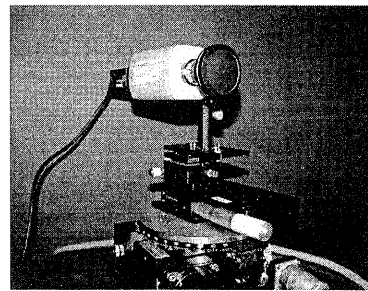


図 10: 分光スペクトルカメラ

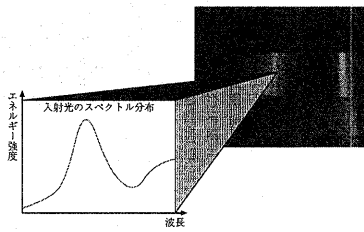


図 11: 分光スペクル画像

効であることを示した [6][7]. 後述する対象追跡システムや3次元映像化システムはすべてこのカメラを用いている.

3 視点固定型3眼ステレオカメラ

コンパクトな3眼ステレオカメラをパン・チルト雲台に搭載した視点固定型パン・チルトステレオカメラを開発した(図9). これを用いると全方位の3次元距離画像を能動的に得ることができ, 移動対象の検出や追跡, 認識の安定化が大いに期待できる.

4 分光スペクルカメラ

図10は, 今回開発した分光スペクルカメラシステムの写真を表し, このカメラによって各画素が分光スペクルを値として持つ分光スペクル画像(図11)が撮影できる. このシステムは, 1次元のスリット上の各点における分光スペクルを, 空間軸と波長軸の2つの軸からなるラインスペクル画像として撮影するラインスペクルカメラと回転台から構成されている. ラインスペクルカメラはその投影中心が回転中心に一致するように固定されている. このため, 通常のカメラで撮影した画像と同じ幾何学的特性を持った分光スペクル画像が撮影でき, シーン中の対象物体の詳細な幾何情報と分光スペクル情報を同時に獲得することが可能となる.

5 頑健な画像処理手法の開発

対象検出のための有効な方法として背景差分法があり, 後述する対象追跡システムでは視点固定型カメラと背景差分法を組み合わせることで実時間対象追跡を行っている. しかし, 通常背景差分法では背景が変動しないことを前提としており, 照明が変化したり, 木など変動する背景対象が存在する場合にはうまく機能しなかった. これらの問題を解決するため以下のアルゴリズムを開発した.

1 照明変化に対して頑健な背景差分法

背景画像を撮影したときの照明条件と観測を行ったときの照明が異なっても安定に対象を検出するアルゴリズムを開発した [8]. 図12はこのアルゴリズムにおける処理過程を示したもので, 照明変化に不変な特徴に基づく背景差分(図の左)と, 固有画像解析

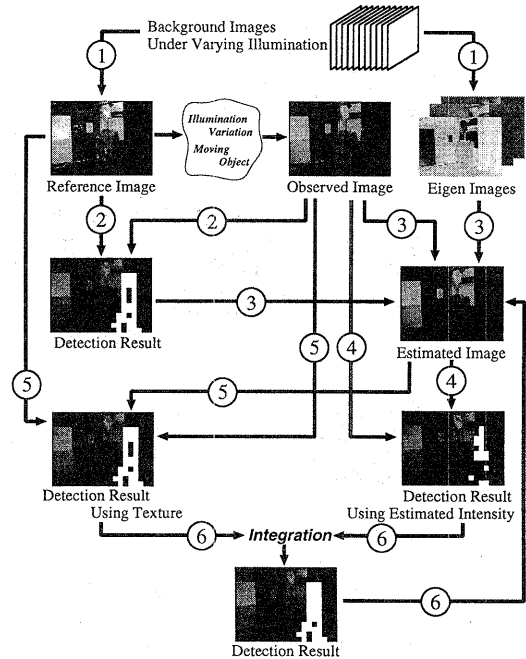


図 12: 照明変化に対して頑健な背景差分法

に基づいて観測画像の照明条件を推定し, 推定照明条件下での背景画像を生成して差分を行う方法(図の右)の2つの解析を統合したものになっている.

2 動的背景中の対象検出

木など変動する対象が含まれた背景を写したビデオ映像から, 照明変化に不変な特徴の時間的共起性を統計的に求め, 背景対象の運動パターンをモデル化する方法を開発した [8]. そして, 観測画像中の各小ブロックごとに, 予め求めた運動パターンと異なった動きをする部分を移動対象として検出する. この方法を用いれば, 木の揺らぎや信号のオン・オフなどの動きがうまく表現できることを実験で示した.

6 ダイナミックメモリを用いた実時間対象追跡

通常的首振りカメラを用いた場合は, パン・チルトの変更によって運動視差が生じるため, それを補正するための処理が必要となり, 処理速度および対象検出精度に問題が生じる. これに対して視点固定型パン・チルト・ズーム (FV-PTZ) カメラを用いると, 図13に示すような背景差分による対象の検出・追跡システムが容易に構成できる. 具体的には,

1. 予め対象の写っていないシーンの全体像を FV-PTZ カメラで撮影し, 広角パノラマ (APP) 画像とし

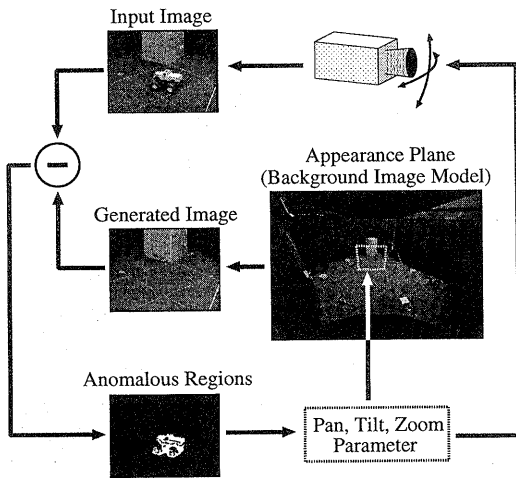


図 13: 視点固定型パン・チルト・ズームカメラを用いた対象検出・追跡システム

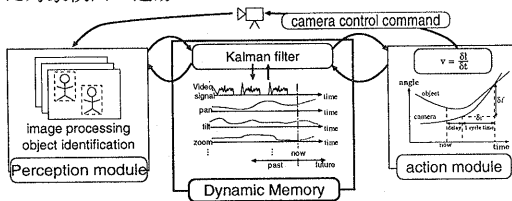


図 14: カルマンフィルタ機能付きダイナミックメモリを用いた実時間対象追跡システム

て記録する。

2. 観測時のパン・チルト・ズーム値を基に、APP 画像から現在の観測画像と一致する画像を逆投影によって生成し、それを背景画像とする。
3. 観測画像と背景画像の差を計算し、変化領域の有無により対象の存在を判断する。
4. 対象が存在する場合は、変化領域の面積と重心を求め、それらを対象の大きさとして位置とする。また、時間的に連続する 2 フレームの観測画像に背景差分を適用し、対象位置の変化量から対象の移動角速度を求める。
5. 得られた対象の位置・大きさ・運動情報を基にパン・チルト・ズームを制御し、2 からの処理を繰り返す。

この初期の対象追跡システムは、画像処理→カメラ制御→画像処理…という処理サイクルを繰り返す逐次的システムになっており、実時間性に問題があった。それ



図 15: 人物頭部の追跡

を解決するため、視覚、行動（カメラ制御）モジュールの並行動作およびダイナミックメモリによる両モジュールの動的統合機能を備えた実時間対象追跡システムの開発を行った。システムの基本構造およびプロトタイプシステムの性能評価は文献 [10] に書かれている。現在はさらに以下の点における機能拡張を行っている [14] (図 14)。

- 1 対象認識機能の導入：複数の対象が 1 画面内で捉えられた場合でも、それらを識別して追跡する。
- 2 カルマンフィルタによるデータの補間と予測：ダイナミックメモリにカルマンフィルタの機能を持たせ、対象位置の時間的補間と予測精度の向上を図った。
- 3 予測に基づく画像処理：対象の運動予測に基づいて画像処理に必要なパラメータを適応的に求めることにより、画像処理の精度向上を図る。
- 4 予測に基づくカメラ制御：対象およびカメラの運動予測に基づきカメラ制御を行うことにより、時間遅れのない即応的な視線制御を実現する。
- 5 モデルベース追跡：人物頭部輪郭を楕円としてモデル化し、追跡するシステムについても開発を進めている [11] (図 15)。

7 能動視覚エージェント群による複数対象の協調的追跡

本研究では、視覚・行動・通信機能を持った AVA が多数協調しながら対象を追跡し続ける協同注視をタスクとして、視覚・行動・通信機能の統合方式の研究を行っている。平成 10 年度までは、単一対象の追跡を行うシステムを開発し、障害物が乱雑に配置された広い空間を移動する対象を実時間で安定かつ継続的に追跡でき、その 3 次元位置も計算できることが示せた [12]。

現在は、能動視覚エージェント群による複数対象の協調的追跡を実現するためのシステム設計を進めている。このシステムでは、以下の 3 レベルでの動的インタラクションによって、多様な動きをする複数対象を適応的に追跡する機能の実現を目指している (図 16) [15]。

- 1 モジュール間インタラクション: 1 つの AVA を構成する視覚、行動、通信モジュール間の動的相互作用。そのためのメカニズムとしては先に述べたダイナミックメモリが使われる (図 3)。
- 2 エージェント間インタラクション: 同一の対象を追跡している AVA 群はエージェントというグループにま

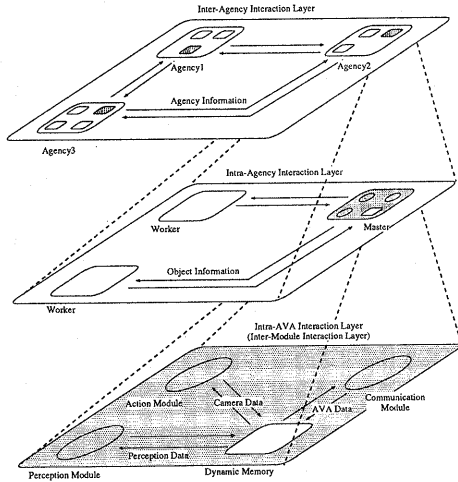


図 16: 複数対象追跡のための動的インタラクション

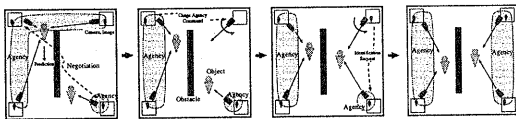


図 17: 負荷分散のためのエージェント間の交渉

とめられる。エージェント内にはマスタ・エージェントが1つ存在し、他のワーカー・エージェントが観測した対象情報に基づき、対象の3次元位置を計算する。逆にワーカー・エージェントはマスタからの対象情報に基づきカメラの制御を行う。このように、1つのエージェントに属すエージェント間では、エージェントの形成、マスタ・エージェントの決定・交代、対象情報の交換のためのインタラクションが行われる。

- 3 エージェント間インタラクション: 複数の対象を同時に追跡している場合は、複数のエージェントが形成される。複数の対象の多様な行動に適応して追跡を継続するには、エージェント同士でのインタラクションが必要となる。すなわち、ワーカー・エージェントのトレードによるエージェント間の負荷バランス(図17)、新たな対象の出現に対する新エージェントの生成、複数対象の交差・分離に伴う複数エージェントの融合・分割などである。

8 動的3次元シーンの能動的映像化

6および7で述べた対象追跡システムを用いれば、広い範囲を動き回る対象の映像化が容易に実現できる。本研究では、以下の3つの映像化システムの開発を進めている。

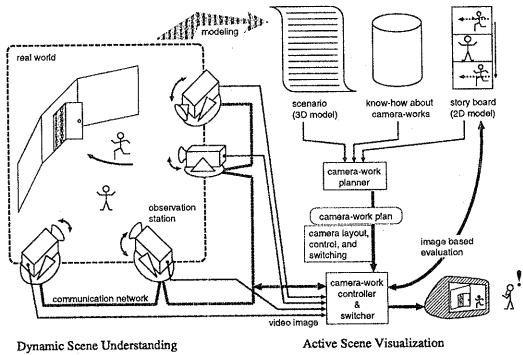


図 18: シナリオに基づく動的シーンの効果的映像化システム

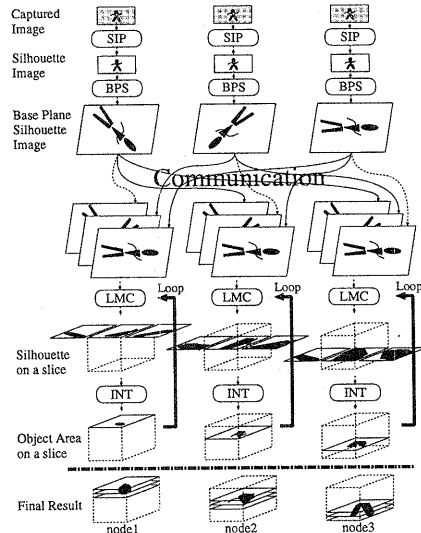


図 19: PC クラスタを用いた多視点シルエット画像からの3次元形状復元法

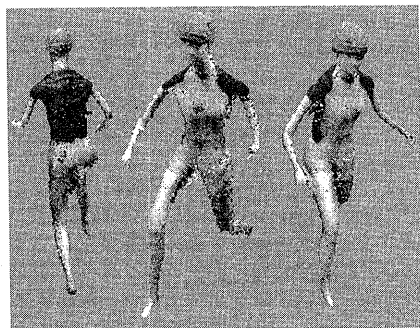


図 20: 3次元実写映像

- 能動カメラによる遠隔モニタリング [13]
 視点固定型パン・チルト・ズームカメラによって遠隔モニタリングを行うシステム。このシステムでは、図13の対象追跡法を修正し、対象を撮した観測ビデオ映像を背景パノラマ画像に埋め込んだ画像を合成して表示する。これによって、中心視ビデオ映像と周辺視パノラマ画像の自然な合成が実現できる。
- イベント駆動型カメラワークによる動的シーンの効果的映像化 [17]
 図18は、現在開発中のシナリオに基づく動的シーンの効果的映像化システムの構成を示したもので、シーン中で生じる各種の出来事を記述したシナリオと、どのような映像をとれば良いかを示すストーリーボードを基に、カメラの配置とカメラワークを計画し、それに基づいて実際の出来事を観測、映像化する。このシステムを用いれば、知的なテレビスタジオや遠隔講義システムの高度化が実現できる。
- PC クラスタを用いた身体動作の実時間3次元映像化 [16]
 本研究では、図5に示したPCクラスタを利用して、ダンスや体操、手話といった人間の身体動作を実時間で3次元実写映像化するシステムの開発を行っている。図19は、多視点ビデオ映像から3次元形状を復元するための分散並列処理アルゴリズムを示したもので、実際の身体動作を解像度 $2 \times 2 \times 2\text{cm}$ で毎秒5、6コマの速度で3次元形状として復元することができる。図20は復元された3次元形状表面へ実写映像を張り付けた結果を表す。

9 今後の課題

プロジェクトの最終年度に当たる平成12年度は、これまでに得られた研究成果をもとに、以下のような実用に耐えうるアルゴリズムやシステムの開発を行う計画である。

- 多重フォーカスカメラを用いた3次元距離画像計測装置の実用化
- 視点固定型パン・チルトカメラを用いた高解像度風景パノラマ画像撮影システム
- 視点固定型3眼ステレオカメラを用いた実時間対象追跡システム
- ダイナミックメモリを用いた実時間人物追跡システム
- ITSへの応用を想定した多視点画像からの車両追跡システム
- AVA群による実時間複数対象追跡システムの完成
- PCクラスタを用いた身体動作の実時間3次元映像化システムの完成と能やダンスの映像化
- イベント駆動型カメラワークによる動的シーンの効果的映像化システムを用いたドラマ映画の撮影

本研究は、日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業 (JSPS-RFTF 96P00501) の補助を受けて行った。

参考文献

- [1] T. Matsuyama: Cooperative Distributed Vision - Dynamic Integration of Visual Perception, Action, and Communication -, Proc. of Image Understanding Workshop, pp. 365-384, 1998
- [2] T. Matsuyama: Cooperative Distributed Vision: - Dynamic Integration of Visual Perception, Action, and Communication-, Proc. of 23rd Annual German Conference on Artificial Intelligence, pp.75-88, and Proc. of 21 DAGM-Symposium, pp.138-151, 1999
- [3] 東海彰吾, 美越剛宣, 角田健, 和田俊和, 松山隆司: PCクラスタを用いた実時間3次元形状復元システム, 第5回知能情報メディアシンポジウム, pp.9-16, 1999
- [4] 松山隆司: 多重画像の統合-高精度画像計測と多機能画像生成-, 電子情報通信学会誌, Vol.79, No.5, pp.490-499, 1996
- [5] 日浦慎作, 松山隆司: 構造化瞳をもつ多重フォーカス距離画像センサ, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J82-D-II, No.11, pp.1912-1920, 1999
- [6] 和田俊和, 浮田宗伯, 松山隆司: 視点固定型パン・チルト・ズームカメラとその応用, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J81-D-II, No.6, pp. 1182-1193, 1998
- [7] 松山隆司, 和田俊和, 物部 祐亮: 視点固定型パン・チルト・ズームカメラを用いた実時間対象検出・追跡, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.8, pp.3169-3178, 1999
- [8] T. Matsuyama, T. Ohya, and H. Habe: Background Subtraction for Non-Stationary Scenes, Proc. of 4th Asian Conference on Computer Vision, 2000
- [9] 松山隆司, 和田俊和, 物部 祐亮: 視点固定型パン・チルト・ズームカメラを用いた実時間対象検出・追跡, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.8, pp.3169-3178, 1999
- [10] 村瀬健太郎, 日浦慎作, 松山隆司: 実時間対象検出・追跡のための知覚と行動の動的統合, 情報処理学会研究会資料, CVIM115-20, 1999
- [11] K. Yachi, T. Wada, and T. Matsuyama: Human Head Tracking using Adaptive Appearance Models with a Fixed-Viewpoint Pan-Tilt-Zoom Camera, Proc. of 4th International Conference on Face and Gesture Recognition, 2000
- [12] 松山隆司, 和田俊和, 丸山昌之: 能動視覚エージェントによる移動対象の協調的追跡, 画像の認識・理解シンポジウム MIRU'98, Vol.I, pp.365-370, 1998
- [13] 弓場竜, ウ小軍, 東海彰吾, 松山隆司: 能動カメラによる中心視ビデオ映像と周辺視パノラマ画像の自然な合成法, 情報処理学会研究会資料, CVIM115-19, 1999
- [14] 富山忠文, 松山隆司: ダイナミックメモリを用いた実時間対象追跡, 情報処理学会研究会資料, CVIM121, 2000
- [15] 長尾 卓, 松山隆司: 能動視覚エージェント群による複数対象の協調的追跡, 情報処理学会研究会資料, CVIM121, 2000
- [16] ウ 小軍, 東海彰吾, 和田俊和, 松山隆司: PCクラスタを用いた身体動作の実時間3次元映像化, 情報処理学会研究会資料, CVIM121, 2000
- [17] 田中 彰, 東海彰吾, 松山隆司: イベント駆動型カメラワークによる動的シーンの効果的映像化, 情報処理学会研究会資料, CVIM121, 2000