

論文内容の要旨

論文題目 空間知能化のための色情報に基づく物体追跡に関する研究

氏名 森岡 一幸

1. 研究の背景

近年、ロボティクスの分野において、人を取り巻く環境を知的にし、その中で活動する人に対して支援を行なうことを目的とした空間知能化に関する研究分野が広がりを見せている。ロボット単体においてセンサの観測範囲の制限などのため、動的な環境変化に対応して、人間に満足感を与える程度の速度を維持した上で確実な動作を行なうことは困難であり、ロボット要素を分散配置した環境によってこのような短所を補うことができるという考えが空間知能化のきっかけとなった。現在ではこのような考えが拡張され、知的なロボット要素に加えて知的なヒューマンインターフェース要素も人間の周囲に分散配置され、ネットワークにより結合された分散ロボット、環境ロボットとして構成される新たな知能システムとして位置付けられる。

空間知能化のためには、環境内部の人や機械の位置情報など状態を認識すること、認識した情報に基づき空間側の知能が機械を知的に制御すること、空間の形状、大きさに依存しないスケラビリティを持つことが求められる。それらの課題の中でも、空間内の人間及びロボット等の対象物の位置・姿勢情報の獲得、個体識別に関する空間認識機能は知能化空間の基盤となる重要な技術である。本論文では、知能化空間(インテリジェントスペース : iSpace)のセンシング部分を構成する視覚センサネットワークにおいて、広域に渡る物体のシームレスな追跡を実現するため、動画像上での色情報を用いた物体追跡および視覚センサ群の協調による追跡の実現可能性について述べる。

2. 研究の目的

本研究では、動画像を処理することで得られる空間内の物体の色情報を用いて、さらに分散配置された視覚センサ群が協調することにより広域でのシームレスな物体追跡を実現し、空間知能化のための基盤となるセンシング技術を確立することである。特に、

- 位置推定の信頼度に基づいた視覚センサ群での追跡権のハンドオーバーによる広域でのカラーマーカーの追跡および知能化空間のアプリケーション例の実現。
- 視覚センサ単体での、物体に関する事前情報が無い状態から色情報に基づいた複数のプロセスの相互作用により複数物体を認識し追跡するアルゴリズムの提案。
- 複数の視覚センサでの物体情報のマッチングのためのグローバルカラーモデルの提案とその有効性の検証。

を目的としている。この研究により、複数の視覚センサが分散配置されて構築されるインテリジェントスペースのための、空間認識が可能となると考えられる。図1に本研究のターゲットとなる知能化空間の概念図を示す。

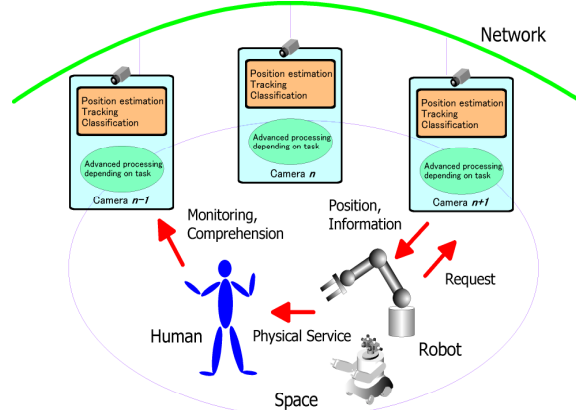


図1 知能化空間と視覚センサの役割

3. 複数の知的視覚センサによる空間知能化

まず、環境内に固定した視覚センサと計算機を組み合わせ、知的センサのプロトタイプを構築した。知能化空間は追跡対象となる移動ロボットのカラーマーカーおよび人間の肌色情報に関する知識をあらかじめ保持しており、各視覚センサでの単純な動画像処理により追跡が可能である。しかし、各カメラで観測できる領域が限定されているため、環境中を移動する物体の位置情報をシームレスに獲得するためには何らかのビジョンセンサの協調のメカニズムを構築する必要がある。ここでは、物体追跡を行っているセンサに対して物体を追跡する権利という概念を定義し、センサ同士の通信によってその権利を各センサ間で移動させるためのハンドオーバーアルゴリズムを提案した。視覚センサと物体の間のワールド座標系における距離、及び視覚センサが取得した画像中に物体が存在するピクセル位置を用いて、観測領域内での物体追跡の評価する信頼性を定義し、追跡状態を異なるセンサ間で比較することによって、追跡権を自動的に移動させ常に最も追跡状態の良いセンサが物体位置を同定するように設計された。この研究により、環境中に存在する人間と移動ロボットの位置情報を複数の視覚センサにより構成された知能化空間によって 5cm~10cm の精度で同定できることが示された。さらに、空間知能化のアプリケーションのひとつとして、追従対象の人間と移動ロボット自身の位置情報推定に関する支援を知能化空間から受けることを前提とした、人間追従移動ロボットを開発し、分散センシングによる知能化空間の効果を実証した。図2に信頼性に基づく観測領域の分割の様子と、4個の視覚センサでのハンドオーバーによる移動ロボットの追跡結果を示す。

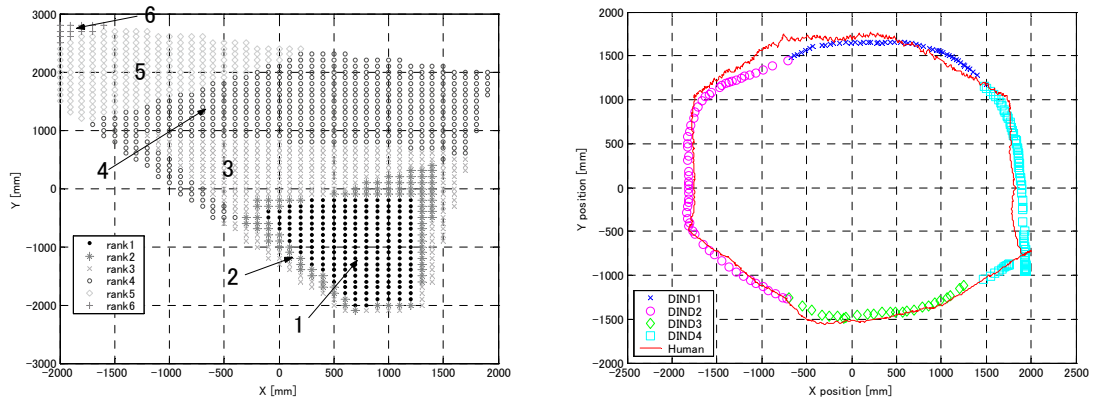


図2 信頼性マップ(左)、視覚センサ群による追跡結果(右)

4. 色情報に基づく複数物体追跡

次に、単体の視覚センサにおける画像情報の処理とその結果としての新規物体の発見および追跡について説明する。前節で述べた追跡方法ではあらかじめ追跡対象の保持する色情報に関する知識を与えていたが、人間-ロボット共存のための知能化空間では存在しうる物体は多岐に渡り、事前知識なしで未知の複数の物体に対応できるような、単体カメラでの複数物体追跡アルゴリズムが必要とされる。本研究では、画像中の物体の状態に応じて、物体の存在を確定させ、色情報を獲得し追跡するプロセス(オブジェクト発見プロセス)と、物体の存在の仮定に基づいて物体領域のカラートラッキングを行なうプロセス(トラッキングプロセス)を自動的に選択することによって、物体に関する事前情報のない状態から追跡を開始できる複数物体追跡手法を提案する。トラッキングプロセスでは、適応的に生成される背景情報からの差分により物体候補領域を抽出し、抽出された領域のカラーヒストグラムからなる特徴ベクトルのオンラインクラスタリングによって物体の存在を確定する。確定した物体に関しては、オクルージョンの発生時など背景情報のみでは追跡が困難な場合、物体領域のカラーヒストグラムを利用した MeanShift 法からなるトラッキングプロセスにより、追跡を継続するトラッキングプロセスが起動する。両プロセスを統合することで互いの短所を補うことのできる追跡アルゴリズムとなる。図 3 に実験結果を示している。

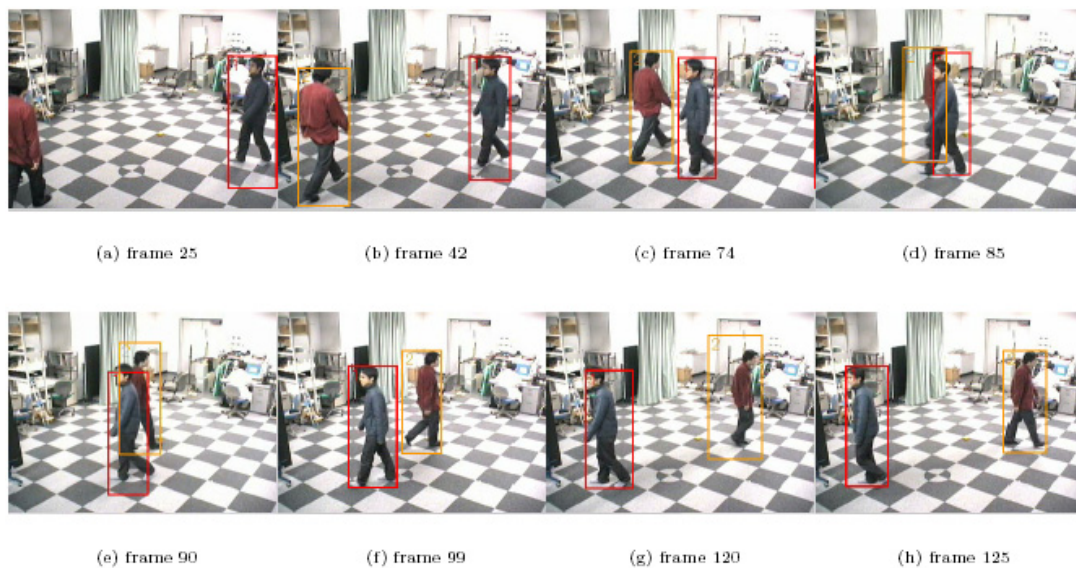


図 3 単体カメラでの複数物体追跡結果

5. 視覚センサ群の協調のためのカラーモデルの提案

図 3 に示したような単体カメラにおける物体のトラッキングの際でも、物体を表すカラーヒストグラムモデルは物体の姿勢や大きさ、照明変化などによって変動する。そのような同一物体におけるカラーモデルの変動を含めたモデルを構築することによって、異なるカメラから様々な姿勢におけるカラーモデルが得られた際にも、その対応づけを行なうことが容易になるものと考えられる。単体カメラでのトラッキング時に毎フレームごとに生成されるカラーヒストグラム集合には、物体の姿勢などの変動による色の見えの変動が含まれている。物体の全周囲の色情報がローカルカラーモデル集合に含まれているとき、全く同一の色組成を持つ物体が

複数存在しない限りは、空間内で物体を同定するのに有効な情報であると考えられる。ここでは、固有空間法をカラーモデルへ応用して、単体の視覚センサでの物体領域追跡時に得られる大量のカラーヒストグラム情報の集合に含まれる、各物体に固有な色変動に関する情報を失うことなく、簡略化したグローバルモデルとして再生成する。図4は、グローバルカラーモデルの概念を示している。固有空間に投影されたグローバルカラーモデルを異なるカメラで観測された同一物体について比較した際、その対応づけの可能性が実験により検証された。

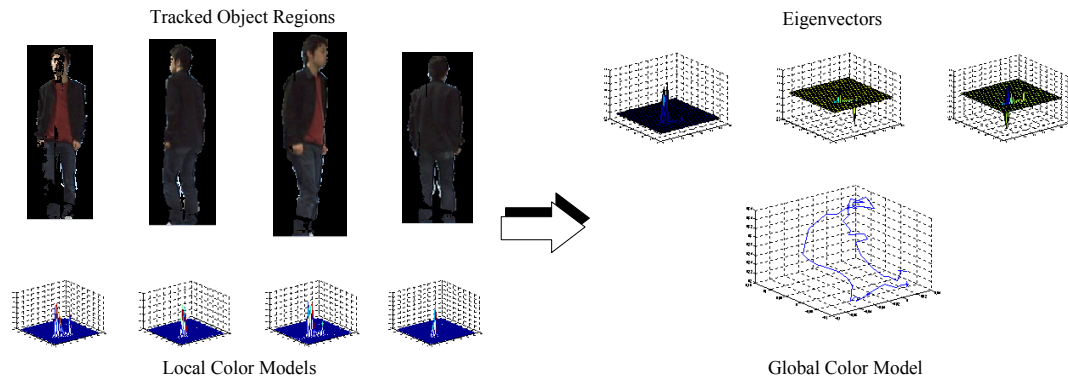


図4 グローバルカラーモデルの概念図

6. 結言

本研究では、従来のロボットについての考え方を空間全体に拡張した知能化空間を構成するための空間認識機能の実現のため、大量に分散配置された視覚センサによる、動画像上での色情報の処理による物体追跡に関して研究を行った。

まず、知能化空間があらかじめ保持している物体の色情報に基づいた物体追跡において、複数の視覚センサによる広域でのシームレスな追跡を実現するため、物体の追跡状態に基づいた追跡権のハンドオーバー手法を提案し、実験によりその効果を確認した。

次に、単体の視覚センサにおいて、物体に関する事前情報のない状態から、物体候補領域の色情報に基づいて自動的に物体の存在を判定するオブジェクト発見プロセスと、追跡状態に応じて適宜起動するトラッキングプロセスの相互作用により複数物体の追跡を実現する複数物体追跡アルゴリズムを提案し、実験を行った。

さらに、単体の視覚センサで獲得されたローカルな色情報の集合から、異なる視覚センサとの同一物体の対応付けに用いるためのグローバルカラーモデルを提案し、シミュレーションおよび実画像によるデータにより、対応付けの効果を確認した。

以上の研究成果をシステムとして統合することにより、将来的に空間知能化において最も重要な空間認識が、視覚センサ群を分散配置することによって実現できるものと考えられる。