

研究課題別評価

1 研究課題名: 柔軟なユビキタスカメラ環境の構築と広範囲対象追跡への応用

2 研究者氏名: 浮田 宗伯

3 研究の狙い:

本研究では、分散配置されたカメラ集合（ユビキタスカメラ）により、一般的な広範囲環境を移動する多数対象を観測・追跡するシステムを実現するための諸問題を取り扱った。想定する環境を図1に示す。図に示したように、全てのカメラは有線・無線ネットワークにより結合されており、相互に通信可能である。各カメラは、撮影画像を解析して、その解析結果を他のカメラと交換し、その結果に基づいてシステム全体で協調的に動作しながら観測結果を統合する。現在のハードウェア技術で、こうした処理を全てカメラ単体に行わせることは困難であるため、実際には各カメラは計算機と一対一で構成され、全ての計算処理やネットワークを介した情報交換はこの計算機が行うように設計している。

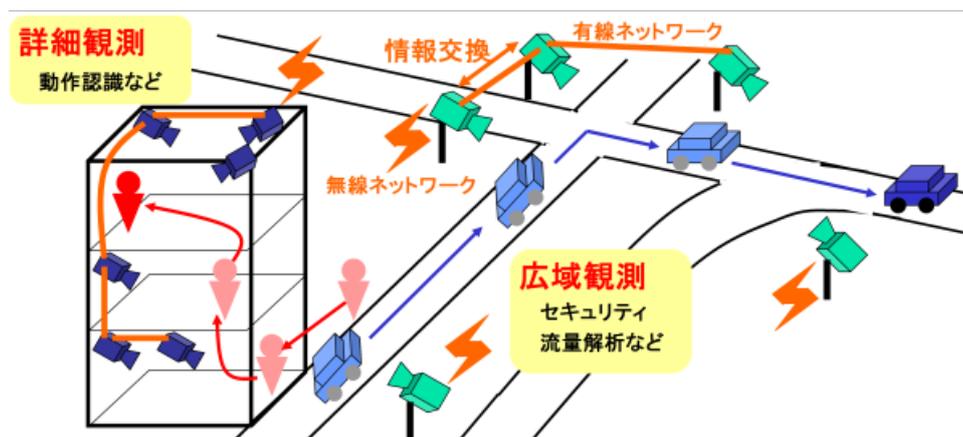


図1 ユビキタスカメラによる広範囲・多数対象追跡

こうしたユビキタスカメラによる環境観測は様々な特徴を備えるが、本研究では以下の2点に大別して研究を進めた:

詳細観測: 部屋や広場などの局所空間において、複数カメラで対象を多方向から観測する。この多方向観測により、3次元情報計算、障害物による遮蔽を避けた継続観測、などが可能となる。さらに本研究では、首振り・ズーム可能な能動カメラを利用することにより、対象の高解像度画像撮影を可能とする。この高解像度画像は、画像解析に基づいたあらゆる手法(顔認識、ジェスチャ認識、形状復元など)の精度を向上させることができる。

広域観測: 建物全体や道路交通網上に配置されたカメラ集合により観測された対象情報から、その対象の移動情報(軌跡、経路、時刻など)を推定する。広範囲にわたる対象の移動を継続的に追跡することができれば、セキュリティー目的の監視や交通計画のための流量観測の自動化などが実現できる。

4 研究成果:

本研究の成果全体と将来展望の関係を図2に示す。本稿では、対象追跡機能に焦点を当てて以下

の項目についてその概要を述べる：

観測画像からの対象領域検出 (4.1 章)： 広域・長時間にわたる観測において、画像中から対象領域を正確に検出する手法。

多数対象の同時追跡 (4.2 章)： 局所領域に設置された少数カメラを利用して、より多数の対象を協調的・効率的に追跡するためのシステム。

ユビキタスカメラの連結関係推定と広範囲対象追跡 (4.3 章)： 広域分散配置されたカメラ集合が観測する領域と移動対象の経路間を、観測画像集合から自動的に推定する手法。

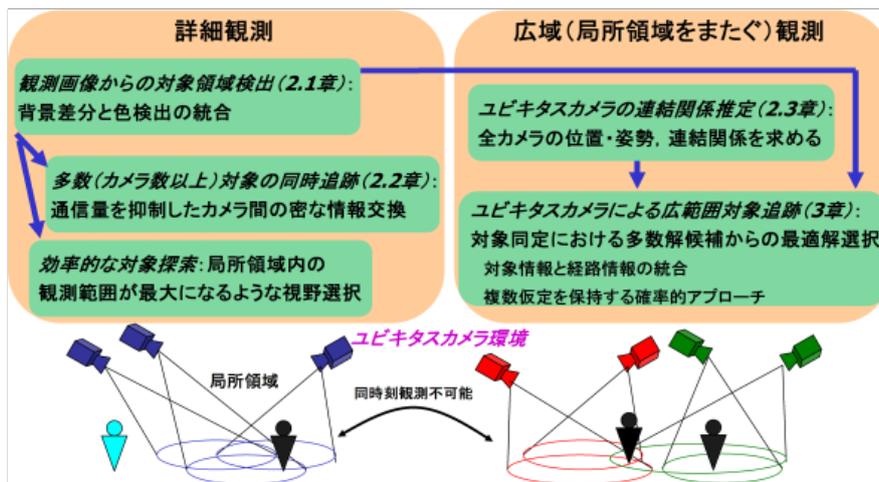


図2 研究項目全体の関連図

4. 1. 観測画像からの対象領域検出

観測画像中から背景外物体や移動物体を検出する手法は、数多くの視覚システムの最も基盤となる技術の一つであり、様々な手法が提案されている。その中で「背景画像と入力画像間の差分の大きな領域を検出する」背景差分は、ターゲットに関する事前知識を必要とせず任意の対象を検出可能であり、十分な背景情報を事前に学習可能な環境下であれば優れた結果を期待できる。しかし実環境で頑健に動作する背景差分を実現するためには、以下の技術的課題を解決しなければならない：

問題 1: 照明変化 照明変化や影による背景物体の見えの変化の誤検出。

問題 2: 非静止領域 背景内の非静止領域(葉や旗の揺らぎなど)の誤検出。

問題 3: 類似色 背景に似た色の対象検出が困難。

これらの問題が解決できていない場合、検出結果には誤検出・未検出が生じてしまう。背景差分に基づいた従来法では、(1)背景画像のモデル化(色モデル)における近似誤差、(2)背景情報のみから検出処理が行われる、という処理が原因となって上記問題を全て同時に解決することは難しい。これらの問題を解決するためには、(1)近似誤差を伴わない色値のモデル化、(2)背景色とターゲット色の両方を考慮した検出閾値の決定、が有効であると考えられる。そこで、最近傍識別を利用して非近似の背景色とターゲット色を記録・識別する実時間対象領域検出法を提案した。

この手法では、対象検出時に起こりうる背景変動を含んだサンプル画像を全て事前に観測・収集しておく。このサンプル背景画像から各画素の色を抽出し、画像座標・色を統合して表現した識別空間中に全て記録しておく(図3, 左上→右)。図中の識別空間は、画像座標(x,y)と色情報(Y,U,V)により構成された5次元空間であり、色の類似性に加えて背景色の空間的な近接性も表現している。対象検出時には、まず通常の背景差分と同様、事前に学習した背景色との差分の大きな領域を検出する。さらに、検出された領

域中の色をターゲット色として識別空間中に記録する(図3, 左下→右). 以降, 入力画像中の各画素の色は, 識別空間中に記録された背景色とターゲット色との距離を評価し, 近いクラスに属する色として識別される.

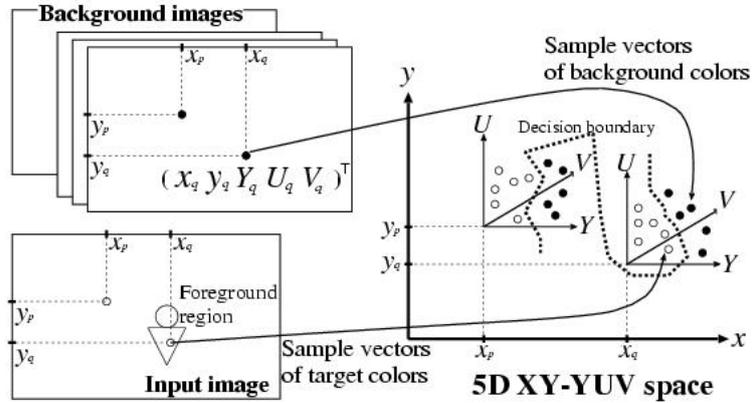


図3 xyYUV5次元空間による最近傍識別を利用した対象検出

実験結果を図4に示す. 下段の検出結果は, 明るい照明と暗い照明という異なる照明条件の結果を示しているが, いずれの条件においても提案法の結果が優れていることが確認できる.

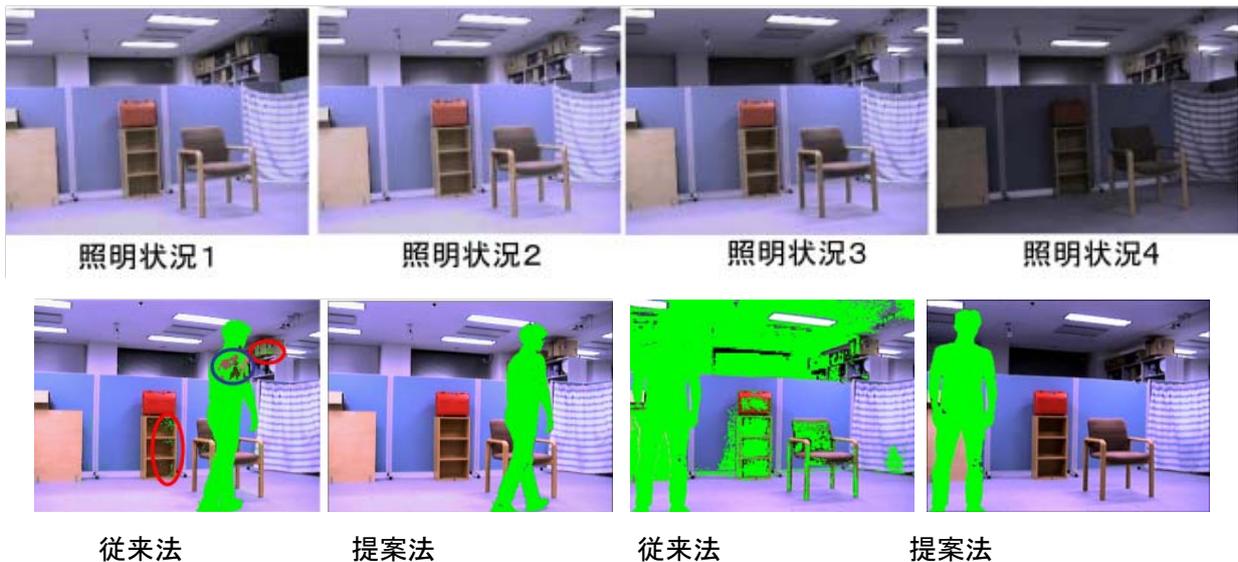


図4 上段:背景画像サンプル集合, 下段:検出結果

4. 2. 多数対象の同時追跡

対象検出と同様, 対象追跡に関する研究も数多く行われているが, 従来の研究ではシステムの特異性・機能や観測する実世界に関して多くの制約がある(カメラ数, カメラの機能, 追跡可能対象数など). こうしたシステムの機能に関する制約は, 追跡システムの振る舞いの柔軟性・適応性を損ねるため, システムを適用可能なタスクや環境が制限されてしまう. そこで我々は, 様々なユーザの目的に適用可能, かつ複雑なシーンの動的状況に適用可能なシステムとして, 非同期アクティブカメラ群による複数対象の実時間協調追跡システムを提案している. このシステムでは, カメラ群が相互に検出対象や自身の状態に関する情報を実時間交換することにより, システム全体で複数対象を協調的に追跡することができた. しかし過去提案したシステムでは, ネットワーク負荷の抑制を目的として, カメラ間で交換する情報が最低限必要な

情報に限られていた。このため、せっかく検出された対象情報のいくつかは追跡に利用されないまま破棄されており、この結果、追跡成功率の低下が起り、同時に追跡可能な対象数に上限が存在した。そこで、新たに「ネットワーク通信量を抑えたまま観測情報を効率的に交換する」ための協調追跡アーキテクチャ、およびプロトコルを提案した。

提案プロトコルには、動的に変化するシステムの構造を各カメラが把握し、検出対象情報を送受信する動的な情報交換ネットワークを高密度・柔軟化させることにより、追跡性能の安定化を実現するとともに同時追跡可能な対象数の制限を解消した。

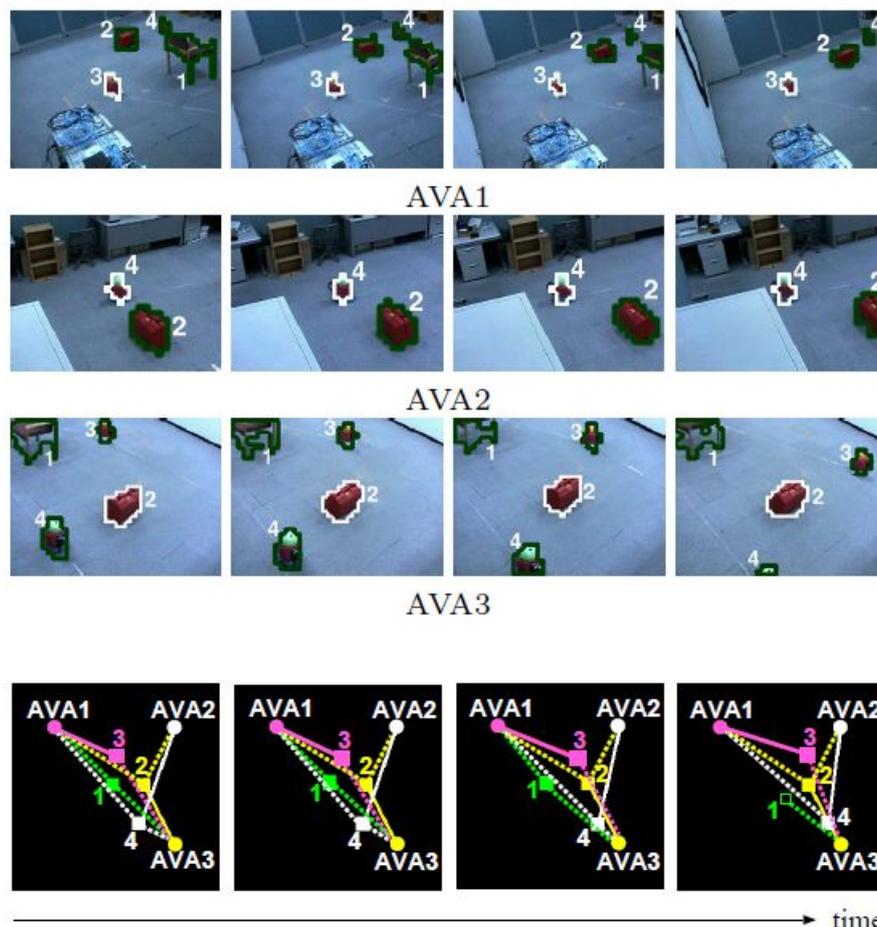


図5 上段:観測画像の一部(0.5 秒間隔), 下段:各瞬間のカメラ(図中の○:AVA1~3)と観測対象(図中の□:1~4)との間の注視関係を表す鳥瞰図。

図5が、システムの動作例を示す。図の下段から、各瞬間において各カメラが複数の対象の検出結果を提供した結果、システム全体として各対象の3次元座標が計算しながら観測視野中の全対象を継続的に追跡している様子が確認できる。

4. 3. ユビキタスカメラの連結関係推定

これまでの我々の研究も含めて、対象追跡に関する研究のほとんどは「視野に重なりのあるカメラ集合による追跡(図6左)」を取り扱っていた。こうしたシステムは、局所領域において対象を多方向から観測する詳細観測のためには有用である。しかし、この視野重畳型カメラシステムによって広範囲にわたる対象

の行動を解析するためには、全ての観測範囲をカメラ視野で覆うような非現実的なほど超多数のカメラ配置が必要となる。そこで、図6(右)に示すような視野に重なりが無い分散カメラ群による広域追跡が必要になる。

こうした不可視領域を含んだ対象追跡における複数カメラ間での対象同定は、視野の重なり領域における対象同定と比較して非常に困難な問題である。この問題に対処するため、多くの関連研究では画像情報による同定に加えて視野間の確率的な連結関係(例:どのカメラ視野間に対象経路が存在するか?その経路が使用される確率はどの程度か?その経路の通過時間はどの程度か?)を参照して同定精度を上げている。しかし、これらの研究では、この情報を手作業により与えている。連結関係が単純であれば手作業も可能であるが、観測範囲の拡大とカメラ数の増加にともない視野間の連結関係は急激に複雑化する。そこで、人間の手作業ではなく、自動的に視野間の連結関係を推定できるキャリブレーション法を提案する。

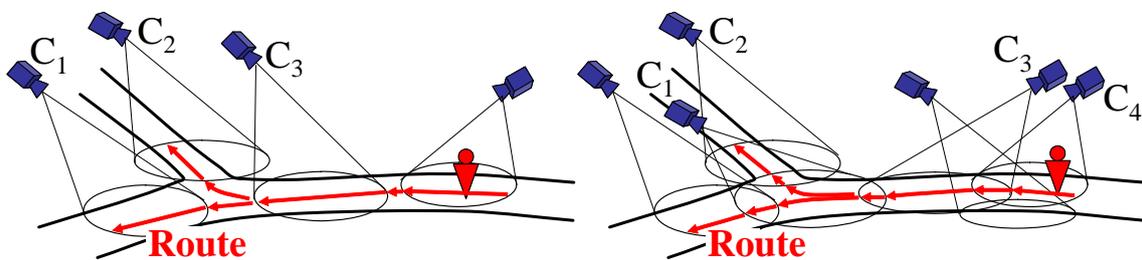


図6 分散カメラシステムの視野:(左)重畳視野,(右)孤立視野

提案手法の特徴は、画像認識によるカメラ間の対象対応付けを必要としない点である。まず各カメラで独立に観測画像中に入り出る対象群を検出・追跡して、画像中で各対象を最初と最後に検出した各瞬間の画像座標と時刻の集合を獲得する。各カメラで観測された全獲得データは、その検出時刻以前に観測された全カメラにおける全獲得データと仮に対応づけられる。これらの対応付けデータを、両座標および観測時刻の差を類似性に基づいて分類すると、誤対応を除いた実在の経路に相当する対応付けデータへの分類が可能となる。この分類結果に基づき、カメラ視野間の確率的連結関係(視野の重なりや視野間経路の有無の有無、入出の生じる画像座標と経過時間の確率的表現、および各経路の使用確率)が得られる。また、連結関係を推定する過程で観測対象群のオフライン追跡も行うことができることも可能である。

実験環境を図7に示す。実験は、12台のカメラを分散配置した屋内環境下で行った。観測対象は全て歩行者で、各カメラの観測画像系列において検出された対象の入出数は、C1~C12の順に7238, 7910, 11789, 13782, 12376, 6792, 7067, 7856, 8178, 12574, 12456, 12786, であった。この入出情報から、114(57の双方向経路)の経路が検出された。検出経路の例を図8に示す。楕円と矢印がそれぞれ検出経路の始点や終点の位置・分散と始点終点の対応付けを表す。図中、実際には全経路の始点終点はそれぞれ別個に求まっているが、近接する始点終点は一つの楕円で示されている。また、全観測シーケンスの中から対象の視野間移動をランダムに300だけ抽出し、経路検出時に得られた対象追跡結果と比較したところ、追跡失敗は2つだけ存在した。以上の結果から、提案手法が実際の分散カメラ群の連結関係推定を実現可能であることが確認できた。

5 自己評価:

柔軟なユビキタスカメラ環境の構築 ユビキタスカメラ環境に要求される「多数カメラ間の大量ネットワーク通信に耐える効率的な情報交換方式」を開発した。また、各カメラ(およびその制御計算機)が動的に動作開始・停止しても継続的に動作できて、かつ旧来のアナログカメラ・最新のデジタルカメラ・固定カメラ・各種アクティブカメラなどが混在しても動作する基盤システムも構築できた。これらの技術により、ネットワークング、耐故障性、使用カメラタイプなどの点で高い柔軟性を実現することができたと考える。

多数・広範囲対象追跡 場所や照明の変化に頑健な対象検出、追跡対象数に制限のないフレームワーク、効率的な広域観測のために視野の重畳・非重畳が混在したカメラ配置にも適用できるカメラキャリブレーション法、が実現できた。この結果、「実験のために用意した数分・数時間程度の実験画像」を対象とするのではなく、大学構内で数日にわたって実際の人の活動状況を観測し続けてシステムの有効性を確認できた。従来の類似研究では様々なステップで人間による処理が入っており、そのまま大規模システムに適用することは導入・メンテナンスの観点から困難であった。しかし、我々の研究成果ではすべての処理は自動的になされており、ユビキタスカメラシステムの柔軟性とあわせてこれまでに無い多数・広範囲追跡システムの基盤が実現できたと考える。

研究課題名にも挙げた上記二点の実現できたことから、本さがけ研究の主な目標は達成することができたと考える。

6 研究総括の見解:

分散配置されたカメラ集合により、広範囲を移動する多数対象の移動状況を特定し、また必要に応じて各対象の行動を精査するために能動カメラ制御による詳細画像観測に関する研究を行った。これらの機能を実現するために、場所や時間に影響されず観測画像から対象を検出・追跡する技術、カメラ集合間で観測対象情報を交換して協調的に対象追跡を行う技術、広範囲にわたる継続的な対象追跡に有用な対象経路情報を自動的に獲得する技術などを提案し、実環境で実証した。セキュリティー目的の監視や交通計画のための流量観測の自動化などの応用が期待できる。更に、実時間での広範囲・多数対象追跡システムなど新たな目標に向けて研究を発展させ、来るユビキタスメディア社会における重要な社会インフラへと成長していくことを期待している。

7 主な論文等:

論文

(1) Norimichi Ukita: ``Real-time Cooperative Multi-target Tracking by Dense Communication among Active Vision Agents,`` International Journal of Web Intelligence and Agent Systems, (Conditional acceptance).

(2) 浮田宗伯: ``能動視覚エージェント群の密な情報交換による多数対象の実時間協調追跡,`` 電子情報通信学会論文誌, Vol. J88-DI, No.9, pp.1438-1447, 2005 年

(3) 北島利浩, 浮田宗伯, 木戸出正継: ``スティックと楕円の統合モデルによる外見的特徴の少ない非剛体群の時系列位置・姿勢推定法,`` 電子情報通信学会論文誌, Vol. J88-DII, No.2, pp.334-346, 2005 年

(4) Norimichi Ukita and Takashi Matsuyama: ``Real-time Cooperative Multi-target Tracking by

Communicating Active Vision Agents,” Computer Vision and Image Understanding, Vol.97, No.2, pp.137-179, 2005.

(5) 浮田宗伯, 松山隆司: ``能動視覚エージェント群による複数対象の実時間協調追跡,” 情報処理学会 CVIM 研究会論文誌, Vol.43, No. SIG11, pp.64-79, 2002 年

特許

(1) 浮田宗伯:

``広域分散カメラ間の連結関係推定法および連結関係推定プログラム,”

特許出願: 2005-249549, 出願日: 2005 年 8 月 30 日

(2) 満上育久, 浮田宗伯, 木戸出正継:

``投影装置, 投影装置の制御方法, 複合投影システム, 投影装置の制御プログラム, 投影装置の制御プログラムが記録された媒体,”

特許出願: 2005-013288, 出願日: 2005 年 1 月 17 日

(3) 浮田宗伯:

``画像処理装置, 画像処理方法, 画像処理プログラムおよびそのプログラムを記録した記録媒体,”

特許出願: 2004-214920, 出願日: 2004 年 7 月 22 日

国際出願番号: PCT/JP2005/012282, 出願日: 2005 年 6 月 28 日

(4) 浮田宗伯, 木戸出正継:

``リモート観測装置, そのプログラムおよび記録媒体,”

特許出願: 2003-192146, 出願日: 2003 年 7 月 4 日,

特許公開: 2005-27166, 公開日: 2005 年 1 月 27 日

招待講演

(1) N. Ukita and T. Matsuyama: ``Real-Time Cooperative Multi-Target Tracking by Communicating Active Vision Agents,” Proc. of 6th International Conference on Information Fusion, Jul., 2003.