

安定な顔認識のための分散協調登録

加藤 丈和[†] 向川 康博[†] 尺長 健[†]

Cooperative Distributed Registration for Robust Face Recognition

Takekazu KATO[†], Yasuhiro MUKAIGAWA[†], and Takeshi SHAKUNAGA[†]

あらまし 本論文では、安定な顔認識の実現に必要な顔画像集合を、効率良く獲得する分散協調登録システムについて述べる。本システムは、カメラとプロセッサによって構成されるエージェントを多数配置し、互いに協調させることにより、人物の検出・追跡と顔画像の登録を統合的に実現する。本システムの協調メカニズムを3層構造で構成することにより、必要な通信量を軽減し、効率的な協調動作を実現する。第1層では、各エージェントが独立に対象人物の検出と2次元追跡を行う。第2層では、エージェント内で、同一の対象人物を追跡するエージェント同士を協調させることにより、安定な3次元追跡を実現する。第3層では、エージェント間の協調により、対象人物の位置や登録状況に応じてエージェント構成を動的に変化させ、各カメラの対象人物を切り換えることにより効果的な登録を実現する。8台のカメラで構築したシステムによる実験結果を示し、提案手法の有効性を確認する。

キーワード 分散協調視覚, 分散協調登録, 人物追跡, 顔認識, 顔画像登録

1. ま え が き

カメラを用いた人物監視は、セキュリティシステムだけでなく、人間と環境との自然なインタフェースを実現するためにも重要な技術である。建物全体のような広い空間を観測範囲として人物監視を行う場合、1台のカメラで全体を観測することは難しいため、複数台のカメラを用いて観測を行い、各カメラで観測された人物を同定する必要がある。実環境において、自由に移動する人物を同定する場合、指紋などの人物固有情報の利用は難しい。そこで、本研究では対象人物を不自然に意識させることなく撮影可能である顔を用いて人物同定を行う。

従来から、様々な顔認識手法が提案されている[2], [4], [7]。これらの手法では、認識対象人物についてあらゆる見え方の顔画像があらかじめ辞書に登録されていれば、ある程度の認識を行うことができる。しかし、認識対象人物をあらかじめ特定することができない場合、顔画像を前もって登録しておくことができないため、登録方法が重要となる。すなわち、未登録人物が観測されたときに、これを検出・追跡するととも

に新たに登録を行うシステムが必要となる。従来の顔認識の研究では、顔画像はあらかじめ限定された環境下で十分に登録されているものと仮定しており、実環境での登録については十分な検討がなされていない。そこで、本研究では、分散協調視覚[3]の枠組みで、人物の検出・追跡と登録を統合的に扱う分散協調登録を提案する。

分散協調登録では、複数の分散配置されたカメラ(エージェント)が、互いに協調動作することで、複数人物を追跡しながら効果的な登録を実現する。このとき、効果的な登録を目的としているため、対象人物の位置、姿勢、及び登録状況に応じて、各カメラが登録する対象人物を適切に切り換え、安定な顔認識の実現に必要な登録画像集合を獲得することが重要となる。各カメラの対象人物を適切に選択するためには、すべてのカメラが協調動作する必要があるが、システムの規模が大きくなると、協調のために必要な通信量が膨大になり、システムが破綻する危険性がある。そこで、3層構造をもつ分散協調登録システムによって、協調動作する範囲を適切に制限することで、通信量を軽減する。

[†] 岡山大学工学部情報工学科, 岡山市

Department of Information Technology, Okayama University, 3-1-1 Tsushima-naka, Okayama-shi, 700-8530 Japan

2. 3層構造をもつ分散協調登録システム

2.1 エージェントとエージェントシー

分散協調登録システムはパン・チルト・ズームを制御可能なアクティブカメラ、画像処理機能と通信機能をもつプロセッサ、及びネットワークによって構成される。図1に示すように、アクティブカメラとプロセッサの組を構成単位として扱い、エージェントと呼ぶ。各エージェントは自律的に動作可能であり、また、通信によって協調動作を実現できる。

同じ目的をもつエージェントの集合をエージェントシーと呼ぶ。逆に、エージェントシーを構成するエージェントをメンバエージェントと呼ぶ。図2に示すように、分散協調登録システムには2種類のエージェントシーが存在する。一定の観測範囲をもち、新たに登場する人物を検出するエージェントシーを検出エージェントシー、そのメンバエージェントを検出エージェントと呼ぶ。一方、ある特定の人物を追跡し、顔画像を登録するエージェントシーを追跡エージェントシー、そのメンバエージェントを追跡エージェントと呼ぶ。

各エージェントシーにはエージェントシーマスタと呼ばれる特別なエージェントが一つ存在する。エージェントシーマスタはエージェントシーの代表として働き、メンバエージェントの管理、他のエージェントシーとの通信を行う。

初期状態においては、検出エージェントシーのみが存在し、すべてのエージェントは検出エージェントシーに属す。検出エージェントが新たな人物を検出したとき、そのエージェントをエージェントシーマスタとする追跡エージェントシーが新たに生成され、人物の追跡を開始する。また、すべてのメンバエージェントが対象人物を追跡できなくなるとその追跡エージェントシーは消滅する。

2.2 3層構造

分散協調登録システムでは、各エージェントは限られた範囲のみを観測し、エージェント間で協調動作することによりシーン全体の観測を実現する。ここで、安定な人物追跡のためには、実時間性が要求され、エージェント間での密な協調が必要になる。一方、効果的な登録のためには、すべての対象人物の登録状態や位置、姿勢などを考慮する必要があり、システム全体での協調が重要になる。ところが、システム全体を密に結合した場合、通信量が膨大になり、効果的な協調を実現できなくなる危険性がある。そこで、図3に

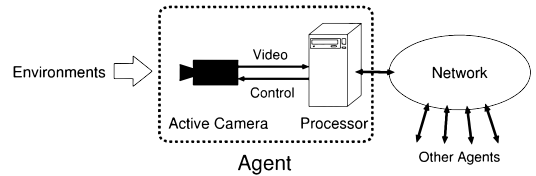


図1 エージェントの構成
Fig. 1 Configuration of agent.

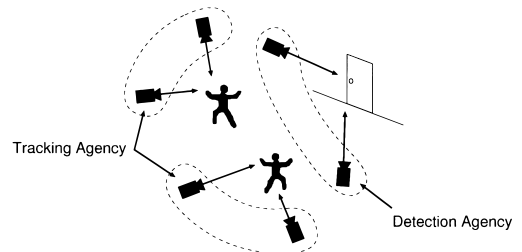


図2 検出エージェントシーと追跡エージェントシー
Fig. 2 Detection agency and tracking agency.

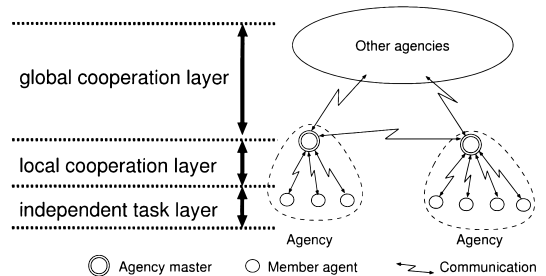


図3 システムのもつ3層構造
Fig. 3 Three layer framework.

示すような3層構造を導入し、各エージェントが協調する相手を目的に応じて適切な範囲に制限する。

独立処理層 (Independent task layer)

各エージェントは自律的に動作し、エージェント間の情報共有、及び同期を必要とすることなく、人物顔の検出・追跡を行う。独立処理層におけるエージェント動作の詳細を3.に述べる。

局所協調層 (Local cooperation layer)

エージェントシー内のメンバエージェント同士で局所的に協調し、エージェントシーの目的を実現する。追跡エージェントシーでは、エージェントシー内で対象人物の位置情報を共有することにより、安定な追跡を実現する。検出エージェントシーでは、エージェントシーのもつ観測範囲をメンバエージェントに分割して割り当てる。局所協調層における協調動作の詳細を4.に述べる。

大域協調層 (Global cooperation layer)

エージェント間で大域的に協調し、システム全体の動作を制御し、効果的な登録を実現する。エージェント間の通信はエージェントマスターが代表として行うことで、システム全体の通信量を軽減する。大域協調層における協調動作の詳細を 5. に述べる。

3. 独立処理層における人物の検出と追跡

独立処理層における各エージェントの自律的な処理について述べる。

3.1 検出エージェントによる人物顔の検出

検出エージェントは、新たに出現する人物の顔領域を検出する。顔領域検出には、部分空間法 [6] と顔構造解析法 [5] を併用する。顔構造解析法は、顔部品 (目、鼻、口) を抽出し、それらの位置関係を検証することで顔領域を検出する手法で、高精度な検出を実現できるが、背景の変動に弱く、探索範囲が広いと処理に時間がかかるという問題がある。そこで、部分空間法によっていくつかの顔領域候補を検出し、各候補領域に対して顔構造解析法を適用する。

3.2 追跡エージェントによる人物顔の追跡

カメラのパン・チルト動作を伴う人物追跡を安定に行うためには、フレームレートでの処理が必要である。一方、顔画像は登録・認識に用いられるため、高精度な顔領域の位置決めが必要である。そこで、以下に述べる 2 段階処理により、高速かつ高精度な人物顔の追跡を実現する。

(1) 直前フレームで得られた顔領域をテンプレートとして用い、テンプレートマッチングにより顔領域の粗い位置決めを行う。この結果を用いて、常に顔領域が画像の中心になるように、カメラのパン・チルトを制御し、追跡を実現する。

この方法は高速処理が可能であるが、高精度な位置を求めることは難しい、テンプレートの逐次更新により位置ずれが蓄積するという問題がある。これらの誤差や位置ずれは (2) によって修正する。

(2) 前段階で得られた顔領域に対して顔構造解析法を適用し高精度な位置決めを行う。顔構造解析法によって各顔部品の位置を求め、得られた顔部品の位置情報に基づいて、顔領域の位置、方向、スケールを修正する。この結果に基づいて顔画像を抽出し、登録・認識に用いる。また (1) のテンプレートを修正する。なお、追跡開始時と追跡失敗時は 3.1 と同様に顔領域の検出を行う。

追跡エージェントは追跡している顔画像を、顔の向きで分類し、アフィン変換による正規化を行った上で顔画像を切り出し、顔の向き情報とともに登録する。顔の向きの判別には、顔構造解析法 [5] の結果を用いる。顔構造解析法によって得られる顔の 3 次元向き情報のうち、垂直軸回りの角度をもとに、正面 (-20° から 20°)、右 (20° から 50°)、左 (-20° から -50°) の 3 通りに分類する。それ以外の方向の顔画像は登録しない。また、顔画像の正規化と切り出しは以下のように行う。顔構造解析法で得られる顔部品位置と、顔の向きごとの標準顔モデルの顔部品の位置から最小 2 乗法によりアフィン変換行列を求め、入力画像に対して位置の正規化を行った上で一定範囲で切り出す。

3.3 単一エージェントによる検出・追跡結果

一つのエージェントによる顔画像の検出・追跡を行った結果を示す。実験では、1 台のパン・チルト・ズームカメラ (SONY 製 EVI-G20) と 1 台の PC (Pentium III-600 MHz) によりエージェントを構成した。カメラで撮影した画像は 320×240 pixel, 24 bit のカラー画像として PC に入力した。また、カメラは RS-232C で PC と接続しパン・ズーム・チルトの制御を行った。撮影環境は、縦横約 6 メートルの部屋の中で、蛍光灯照明を用いた。部屋の片方の壁にカメラを設置し、反対の壁際から登場する人物を検出・追跡した。また、初期状態における検出に用いた部分空間の顔の向きは 0° , 40° , -40° の 3 種類とし、顔画像のスケールを 64×64 pixel から 38×38 pixel の 5 段階とした。

図 4 に検出・追跡結果を示す。図中の破線の枠は第 1 段階で抽出された顔領域を示し、実線の枠は第 2 段階で修正された後の顔領域を示す。また、四つの '+' は

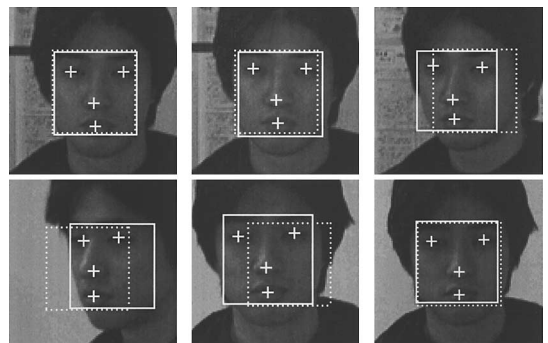


図 4 独立処理層における顔の追跡結果
Fig. 4 Experimental results in independent task layer.

顔構造解析法で抽出された顔部品の位置を示す．これらの結果より，第1段階の追跡の誤差は第2段階の位置決めに基づいて修正され，安定な追跡が実現されていることがわかる．また，第1段階の逐次更新型テンプレートマッチング処理はビデオレート（33 ms/frame）以内で行うことができ，実時間での追跡が実現された．

4. 局所協調層におけるエージェント内協調

検出エージェントと追跡エージェントのそれぞれについて，エージェント内での協調動作について述べる．

4.1 検出エージェントによる観測範囲の割当て

検出エージェントは人物が新たに登場する場所を観測範囲としてもつ．エージェントマスターは観測範囲を各メンバエージェントに分担して割り当て，メンバエージェントは割り当てられた観測範囲内で人物を検出する．観測範囲を割り当てる方法は，シーン中で観測する必要のある範囲，及びメンバエージェントの数と位置によって異なる．本研究では，簡単化のために人物が新たに登場する場所を1箇所に限定し，一つのメンバエージェントによって検出する．

4.2 追跡エージェントによる協調追跡

エージェントごとの追跡では，対象人物が障害物や他の人物によって遮へいされる場合や，カメラからの距離が遠い場合に，追跡が不安定になる．そこで，同一エージェント内のメンバエージェント間で対象人物位置の整合性をとることによって，安定な追跡を実現する．

(a) 一つのメンバエージェントのみ追跡に成功している場合，他のメンバエージェントにおいては，対応するエピソード線上に対象人物が存在していることがわかるため，このエピソード線の周辺領域で顔領域を検出する（図5(a)）．顔領域を見つけたメンバエージェントは追跡を開始する．

(b) 二つ以上のメンバエージェントが対象人物の追跡に成功している場合，三角測量の原理で対象の3次元位置を推定できる．図5(b)に示すように，対象人物は各エージェントの追跡結果に対応する直線の交点に存在する．ただし，各メンバエージェントの追跡結果には誤差が含まれる．また，各メンバエージェントは独立に追跡しているため，対象人物位置を獲得する時刻にずれが生じる．そのため，各直線が厳密に1点で交差する保証はない．そこで，各直線からの距離

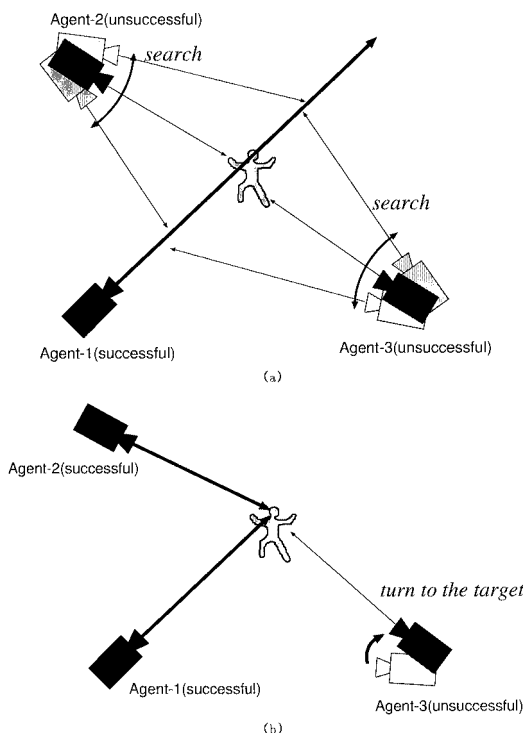


図5 3次元位置を利用した追跡の検証と修正：(a) 一つのエージェントが追跡に成功している場合，(b) 二つ以上のエージェントが追跡に成功している場合

Fig. 5 Verification and correction using 3D position of target person: (a) one agent is successfully tracking, (b) two or more agents are successfully tracking.

の2乗和が最小となる点を対象人物の3次元位置とする．

エージェントマスターは追跡に成功しているメンバエージェントの追跡結果をもとに対象人物の3次元位置を求め，各メンバエージェントに伝える．追跡に成功しているメンバエージェントは，エージェントマスターから受け取った3次元位置を画像平面上に投影した点と，エージェントの追跡結果である2次元位置を画像平面上で比較する．これらの距離がしきい値 $\mathcal{T}$ より小さい場合，追跡結果が正しいと判断し，追跡を継続する．一方，距離が $\mathcal{T}$ を超えた場合は，追跡に失敗していると判断する．追跡に失敗しているメンバエージェントは，受け取った3次元位置の周辺で顔領域の検出を行い，顔領域が見つければ追跡を開始する．

各エージェント間の時刻ずれが小さい場合は，しきい値 $\mathcal{T}$ を小さくすることで，エージェント間の整合

性を高精度に保つことができる．一方，時刻ずれが大きい場合は，時刻ずれに対応してロバストな協調動作を実現するために， T を大きくする必要がある．このように，各エージェントの追跡結果を優先し，追跡に失敗した場合，若しくは追跡結果に整合性がとれない場合にのみ，3次元位置を用いて追跡を修正することで，各エージェントの追跡誤差，及び時刻ずれにロバストな追跡を実現できる．

4.3 協調追跡実験

局所協調層における人物追跡の安定性を確認するために，単一人物を追跡する実験を行った．四つのエージェントにより実験系を構築した．各エージェントの構成，及び入力画像サイズは3.3と同じとし，カメラは縦横約6メートルの部屋の四方の壁際にそれぞれ設置した．各エージェント間は100 Base-TXのネットワークにより接続した．なお，しきい値 T は320 pixelとした．

図6に各エージェントの入力画像系列の例を示す．図中の枠は各エージェントが追跡している顔領域を示す．時刻 t_1 において Agent-1 が新たな人物を検出し，追跡を開始した．このとき，Agent-3 と4は，図6の

破線で示すエピソード線上の探索を開始している．次に，時刻 t_2 において Agent-4 が顔領域を検出し，追跡を開始した．Agent-3 は t_3 において追跡に失敗しているが，時刻 t_7 において修正された．これは Agent-1 と4の追跡結果から求められた3次元位置に基づいて失敗を検出し，再探索を行ったためである．このように各エージェントの追跡の誤りを他のエージェントの結果を用いて修正し，全体として安定な追跡が実現されていることがわかる．また，時刻 t_{11} において，対象人物が Agent-1 と4の観測範囲から外に出たため，これらのエージェントは追跡に失敗するが，その後も Agent-2 と3によって追跡は続行されている．

図7に，時刻 t_0 から t_{11} のエージェントと対象人物との関係を示す．図中の白い丸印はエージェントの位置を示し，黒い丸印は推定された対象人物の位置を示す．また，エージェントから対象人物に向かって引かれた直線はエージェンシースタが受け取った3次元直線を示す．この結果より，推定された3次元位置には多少の誤差が含まれているが，全体としてはうまく追跡できていることがわかる．

5. 大域協調層におけるエージェンシー構成の動的な変更

大域協調層では，エージェンシー間の協調に基づき，エージェンシーの構成を動的に変化させ，効果的な登録を実現する．効果的な登録とは，安定な顔認識を実現するための顔画像集合を効率良く獲得することである．そこで，効果的な登録に貢献しないエージェントを，より貢献できるエージェンシーに移動させることで，エージェンシー構成を適切に変化させる．5.1では登録画像集合を評価するための基準を定義する．また，5.2では実際に移動するエージェントをエージェンシー間で調整するためのプロトコルについて述べる．

5.1 登録画像集合の評価

各エージェントによって得られた登録画像は，顔の向き情報とともにエージェンシースタに集められる．エージェンシースタは集められた登録画像集合を顔の向き（正面，右，左）で分類し，評価を行う．

登録画像集合の評価方法は認識方法に依存して決まる．本システムでは，部分空間法[6]による顔認識を行う．それぞれの登録画像集合に対して主成分分析を行い，部分空間を生成する．認識時には，入力画像の顔の向きに対応する部分空間との距離（DFFS）[4]を人物ごとに求め，DFFSが最も小さくなる人物を認識



図6 局所協調層における追跡結果
Fig. 6 Experimental results in local cooperation layer.

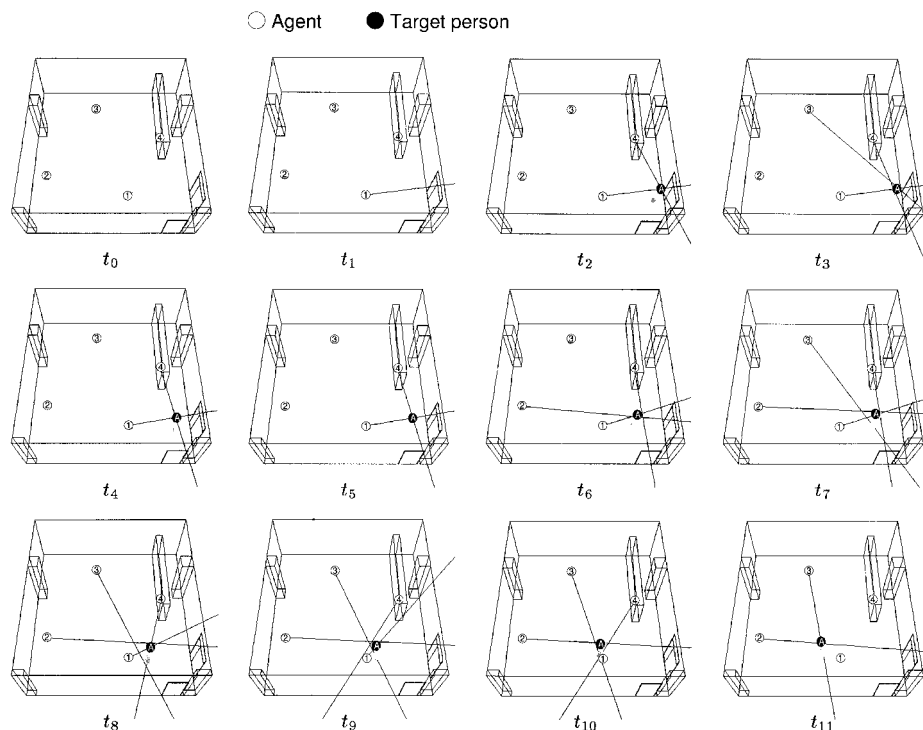


図7 局所協調層における追跡結果 (3次元位置)

Fig. 7 Experimental results in local cooperation layer. (3D position)

結果とする。

部分空間法によって安定な顔認識を実現するためには、顔の向きや照明条件など、多様な条件下で撮影された顔画像が必要である。そこで、顔の向きごとの登録画像集合がどれだけ十分な照明条件の変化を含んでいるかを調べ、それを登録画像集合の評価値とする。具体的には、様々な照明条件下の顔画像をあらかじめ用意し、それらの顔画像と、登録画像集合から生成される部分空間との DFPS を求め、その最大値を登録画像集合の評価値とする。登録画像集合が十分でなければ、不足している照明条件の顔画像との DFPS が大きくなるため、評価値も大きくなる。つまり、この評価値が小さいほど理想的な登録画像集合であると判断することができる。なお、登録画像が1枚も得られていない場合は、認識することができないので、評価値は無限大とする。

実際には対象人物は不特定であるため、各人物に対してあらゆる照明条件の顔画像をあらかじめ準備しておくことはできない。そこで、平均画像を使った標準的な照明パターンを代わりに用いる。あらかじめ多数

の人物の顔画像をいくつかの典型的な照明条件のもとで撮影しておき、各照明条件ごとに平均画像を求める。この平均画像の集合を標準照明パターン集合と呼び、登録画像集合の評価に用いる。

図8に実際に評価に用いた標準照明パターン集合を示す。この例では、50人(男性45人、女性5人、うち9人が眼鏡着用)の人物について、ハロゲンランプを左右に5段階、高さを5段階に変化させ、カメラ自身の影となる照明位置を除く24通りの照明条件のもとで撮影を行った。また、それぞれ顔画像は両目、鼻、口の位置を半自動(大まかな位置を手で与えた後、テンプレートマッチングにより詳細な位置決めを行った)で求め、アフィン変換による正規化を行った後、平均画像を生成した。

5.2 エージェント移動プロトコル

実際にエージェンシー間を移動するエージェントは、エージェンシー間でのメッセージ交換によって決定される。このための手順をエージェント移動プロトコルと呼ぶ。このプロトコルにより、各エージェンシーについて、効果的な登録に貢献していないメンバ

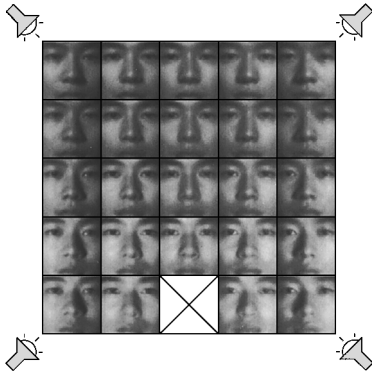


図8 標準照明パターン集合（正面顔）
Fig. 8 Frontal average images in all the lighting conditions.

エージェントを、より貢献できるエージェンシーに移動させることで、エージェンシー構成を適切に変化させる。エージェント移動プロトコル（図9）は以下に示す4種類のメッセージで構成される。

（a）Request メッセージ

各追跡エージェンシーは対象人物の顔の向きごとの登録画像集合について、評価値を計算する。ある向きについての評価値がしきい値以上である場合、エージェンシー（図9中のAgency-A、要求エージェンシーと呼ぶ）は、エージェントを要求するRequestメッセージを他のエージェンシー（Agency-B、Agency-C、被要求エージェンシーと呼ぶ）に送信する。また、要求するエージェントの条件として、必要な顔の向き、登録画像集合の評価値、対象人物の3次元位置、顔の3次元方向をメッセージに付加する。

（b）Ack メッセージ

Requestメッセージを受け取った被要求エージェンシーは、メンバエージェントの中からメッセージに付加された条件に合うエージェントを候補エージェントとして選ぶ。ここで、複数の候補がある場合には、エージェンシー内での貢献度を比較し、最も貢献度の小さいエージェントを選択する。なお、貢献度は、そのエージェントが現在観測している対象人物の顔の方向の評価値とする。つまり、評価値が小さいほど、既に十分な顔画像が得られている方向を観測しているので、エージェンシーに対して貢献していないと判断する。ただし、エージェントが対象人物の追跡に失敗している場合は貢献度を0とみなし、これを選択する。

候補エージェントの貢献度がRequestメッセージに

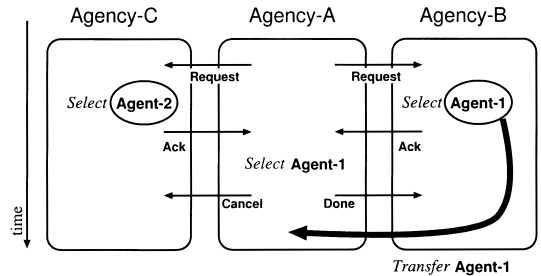


図9 エージェント移動プロトコル
Fig. 9 Agent transfer protocol.

付加された評価値より小さい場合、各被要求エージェンシーはAckメッセージを要求エージェンシーに返す。このとき、候補エージェントの貢献度をメッセージに付加する。

（c）Done、Cancel メッセージ

要求エージェンシー（Agency-A）は、Ackメッセージを受け取ると、候補エージェントの中から最も小さい貢献度が付加されているもの（Agent-1）を選択し、そのメッセージの送り主（Agency-B）にDoneメッセージを送り、実際にエージェントを移動させる。また、選択されなかったエージェンシー（Agency-C）には、Cancelメッセージを送り、要求を取り消す。

5.3 実験結果

提案した分散協調登録の有効性を確認するため、各エージェンシーにおいてメンバエージェントの割当てをランダムにした場合（ランダム登録）との比較実験を行った。なお、各エージェントの構成、エージェント間の接続、及び入力画像のサイズは3、4、と同じとした。

ここで、比較の公平性を保つため、実験はあらかじめ撮影した顔画像系列を用いたシミュレーション実験とした。このため、まず、2人の対象人物が1人ずつ室内を移動する様子を、8個のエージェントを用いて追跡し、エージェントごとに各対象人物の顔画像系列を用意した。これらの顔画像系列を用いて、各時刻のエージェンシーの割当てに従って、各エージェントが一方の対象人物を選択し、顔画像を登録することで、2人の人物が同時に室内を移動した場合の追跡・登録をシミュレートした。

図10に、分散協調登録とランダム登録の評価値の変化を示す。グラフの横軸が時間で縦軸が2人分、3方向の評価値の平均を示す。実線が分散協調登録の結果で、破線はランダム登録によって100回試行を繰り返

返した場合の平均値を表し、縦棒は標準偏差を表す。分散協調登録の場合の評価値がランダム登録の場合に比べて十分に低いことから、分散協調登録によって効果的な登録が実現されていることがわかる。

次に、実際に2人の対象人物が同時に室内を移動する場合の追跡・登録実験を行った。図11に実験環境

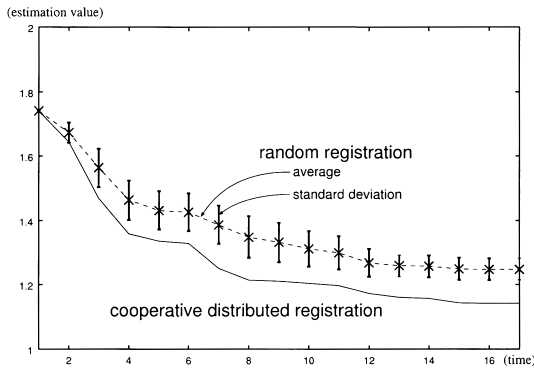


図10 分散協調登録とランダム登録の比較

Fig. 10 Comparison between cooperative distributed registration and random registration.

を示す。図中の白い丸で示す部分は実験に用いたカメラのうちの1台であり、この実験では全部で8台のカメラを用いた。また、図中の白い四角で示す部分が入口であり、ここから2人の対象人物が入室し、それらの人物の追跡・登録を行う。

図12に、このときのカメラと対象人物の関係を示す。図中の●が対象人物 (Target-A, B), ○が検出エージェント, □がそれぞれ Target-A, B に対する追跡エージェントを表す。また、追跡エージェン

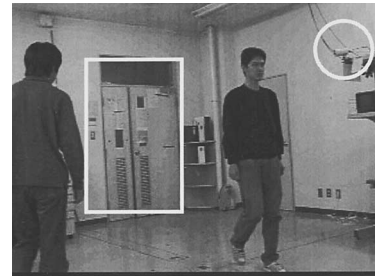


図11 実験環境

Fig. 11 Experimental environment.

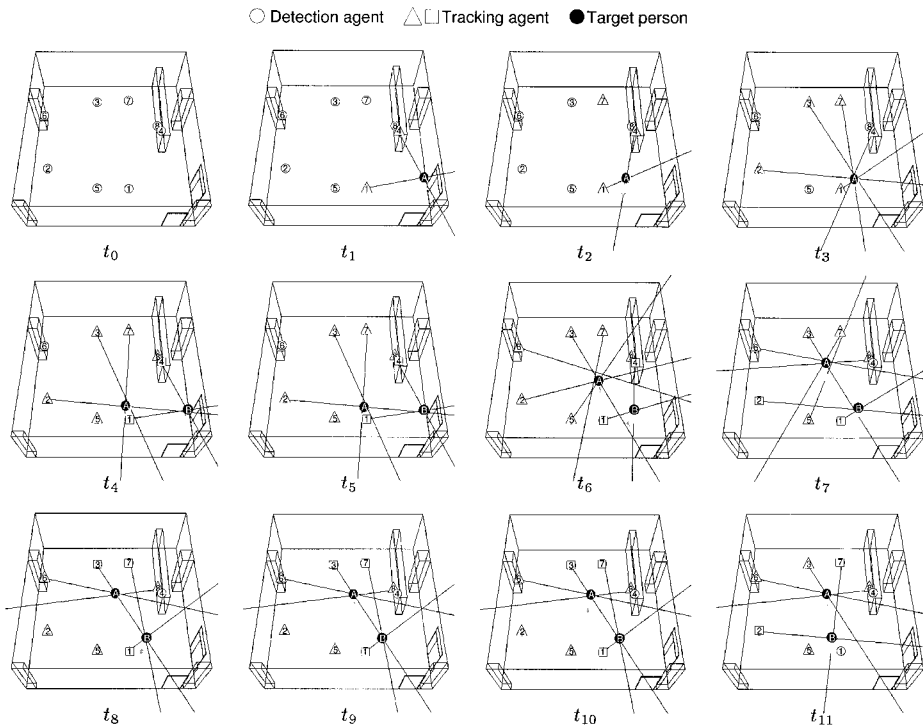


図12 大域協調層におけるエージェンシー構成の変化

Fig. 12 Dynamic agency configuration in global cooperation layer.

トから対象人物に向けて引かれている直線は、各エージェントの追跡結果を表している。時刻 t_1 において、最初の対象人物 (Target-A) が、時刻 t_4 において 2 番目の対象人物 (Target-B) が、それぞれ検出されている。その後、時刻 t_6 から t_{11} の間、各エージェントは対象人物 (Target-A, B) を切り換えながら追跡を続けている。これらの結果から、対象人物が複数存在する場合は、顔画像の登録状況に応じて各カメラが対象人物を切り換えながら追跡できていることがわかる。

6. む す び

本論文では、3 層構造をもつ分散協調登録システムを提案し、顔画像の登録状況に応じて、エージェント構成を動的に変化させることで、効果的な登録を実現できることを実験により確認した。また、実際に 8 台のカメラを用いた実験系において、2 人の人物を同時に追跡・登録できることを確認した。

本システムでは、対象人物の 3 次元位置を必要とするため、1 人当たり最低 2 台のカメラが必要であり、また、効果的な登録のためのカメラの切換を行いつつ、安定な追跡・登録を実現するためには、3 台以上のカメラが必要となる。そのため 8 台のカメラを用いた実験システムでは、3 人以上の人物を同時に追跡・登録することは困難であった。このように多人数を同時に追跡・登録する場合や、観測範囲が広い場合には、更に多数のカメラを用いて追跡・登録を行う必要がある。本論文で提案するシステムでは、3 層構造により必要な通信量を軽減しつつ協調動作を行うことで、ある程度の規模の増大にも対応可能であると考えられる。今後の課題として、実際にどの程度の規模まで拡張可能であるかを定量的に評価することが挙げられる。

また、本研究の最終的な目的は、広域を対象とする人物監視システムであり、そのために人物の登録と認識を統合したシステムの構築とその評価法の確立も今後の課題として挙げられる。

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

文 献

- [1] I. Haritaoglu, R. Cutler, D. Harwood, and L. Davis, "Backpack: Detection of people carrying objects using silhouettes," Proc. ICCV'99, pp.102-107, Kerkyra, Greece, Sept. 1999.
- [2] M. Kirby and L. Sirovich, "Application of the Karhunen-Loeve procedure for the characterization of human faces," IEEE Trans. Pattern Anal. & Mach.

Intell., vol.12, no.1, pp.103-108, Jan. 1990.

- [3] T. Matsuyama, "Cooperative distributed vision — Dynamic integration of visual perception, action, and communication," Proc. Image Understanding Workshop, pp.365-384, Monterey, CA, Nov. 1998.
- [4] B. Moghaddam and A. Pentland, "Probabilistic visual learning for object representation," IEEE Trans. Pattern Anal. & Mach. Intell., vol.19, no.7, pp.696-710, July 1997.
- [5] T. Shakunaga, K. Ogawa, and S. Oki, "Integration of eigentemplate and structure matching for automatic facial feature detection," Proc. FG'98, pp.94-99, Nara, Japan, April 1998.
- [6] Y. Sugiyama and Y. Ariki, "Facial region tracking and recognition by subspace method," Proc. VSSM'96, pp.225-230, Gifu, Japan, Sept. 1996.
- [7] M. Turk and A. Pentland, "Eigenfaces for recognition," J. Cognitive Neuroscience, vol.3, no.1, pp.71-86, Jan. 1991.

(平成 12 年 6 月 5 日受付, 9 月 14 日再受付)



加藤 丈和

平 8 岡山大・工・情報卒。平 10 同大学院工学研究科修士課程了。現在、同大学院自然科学研究科博士課程在学中。コンピュータビジョンに関する研究を行っている。



向川 康博 (正員)

平 4 筑波大・第 3・情報卒。平 9 同大学院博士課程了。同年より岡山大学助手。コンピュータビジョン、コンピュータグラフィックスの研究に従事。博士 (工学)。情報処理学会、日本バーチャルリアリティ学会各会員。



尺長 健 (正員)

昭 51 京大・工・情報卒。昭 53 同大学院修士課程了。同年 NTT 入社、研究所においてコンピュータビジョン、ロボットビジョン等の研究に従事。平 5~6 カーネギーメロン大学ロボティクス研究所客員研究員。平 8 より岡山大学工学部情報工学科教授。共訳書「ロボットビジョン」(朝倉書店)。工博 (京大)。IEEE、情報処理学会各会員。