

# 分散カメラエージェントを用いた広域人物位置検出システム

中澤篤志<sup>†</sup> 加藤博一<sup>††</sup> 井口征士<sup>†</sup>

本論文は、複数のカメラエージェントの協調によって広域環境中の人物位置検出を行う「分散カメラシステム」について述べたものである。カメラエージェントは各々1台の固定カメラを持つ画像処理コンピュータで、リアルタイムで複数の人物を追跡できる。またそれらはネットワークを通じて他のエージェントと通信を行うことができる。カメラエージェントは環境中のさまざまな位置に設置されており、互いの観察領域は重なっていたり離れていたりとすることがある。さらに一部のエージェントの動作停止や新たなエージェントの追加といったイベントに対処する必要がある。このような問題に対し本論文では、各エージェントが与えられた環境マップと互いの観察領域から人物の追跡プランを動的に生成することで、複数のエージェント間で連続的に人物を追跡・位置検出する手法を提案する。実験では、追跡軌跡の評価実験およびエージェントの追加や動作停止実験を行い本手法の有効性を確認した。

## Human Positioning System Using Distributed Camera Agents

ATSUSHI NAKAZAWA,<sup>†</sup> HIROKAZU KATO<sup>††</sup> and SELJI INOKUCHI<sup>†</sup>

This paper proposes the “Distributed Camera System” that can detect human position in a wide area. This system is constructed of many “camera agents” and achieves a task due to cooperation. Camera agents consist of a camera and an image processor and a computer network connects them. They are placed in a real environment and their viewing areas are either overlapping or separated. Each camera agent makes plans using an environmental map and the viewing information of the agent. Using these plans, the system can continuously track a person across all the viewing areas of camera agents. In addition, this system is robust with respect to agent’s failure. We tested this system in two aspects: the detected trajectories and the system’s robustness. In this paper, we present the results of these evaluations, confirming the efficiency of our system.

### 1. はじめに

近年、ヒューマンインタフェースや防犯システム、福祉用途を目的とする人物の位置情報検出システムが注目されている<sup>1)~3)</sup>。このようなニーズに対して我々は、固定カメラと汎用PCを用いて高速かつロバストな人物追跡・位置検出手法を提案した<sup>4)</sup>。このシステムは汎用PCを用いるので安価であり、人物位置の検出結果を世界座標系で得られるため、環境中の人物の所在位置情報を提供するシステムとして有用性が高いと考えられる。しかし実環境での応用を考えると、複数の部屋や通路を総合的に観察するために複数のカメ

ラを用いる必要がある。

複数のカメラを用いて広域を観察する試みは従来から行われているが、複数のカメラからのビデオ信号をスイッチャなどを用いて切り替えながら、単一ホストに入力・処理するシステムが多かった<sup>5)</sup>。しかしこの構成では、カメラの台数が増加し処理すべき映像が多くなると処理速度の低下が生じ、実時間処理は困難である。一方最近では通信機能を持つ画像処理装置とカメラを組み合わせたシステムを安価に入手できる。そこで1台のカメラにつき1つのシーンを割り当て、その結果を通信によって統合し最終的な結果を得る構成が考えられる。

本論文では1台の固定カメラが結合された画像処理装置を「カメラエージェント」と定義し、これを複数用いることで広域観察するシステムを提案する。カメラエージェントはネットワークを通じて通信ことができ、それらの協調により複数のカメラ視野間を移動する人物を連続的に追跡する。このようなシステム

<sup>†</sup> 大阪大学大学院基礎工学研究科システム人間系専攻  
Department of Systems and Human Science, Graduate  
School of Engineering Science, Osaka University

<sup>††</sup> 広島市立大学情報学部情報機械システム工学科  
Department of Information Machines and Interfaces,  
Faculty of Information Sciences, Hiroshima City  
University

を実現するにあたり、我々は以下のような点を実現すべき課題とした。

- (1) カメラエージェントの観察視野の違いや隠蔽などによって、観察不可能な領域が存在する実環境でも使用可能であること。
- (2) 複数のカメラエージェントから得られた観測情報の統合方法。
- (3) 一部のカメラエージェントの障害がシステム全体に影響を及ぼさなくすること。また新たに起動したエージェントが柔軟にシステムに組み入れられること。

実環境を想定する本システムでは、カメラエージェントが異なった領域を観察することで広域をカバーすることが必要となる。また観察範囲中には通路や扉などによる隠蔽、カメラエージェントの観察領域間での不可視な領域などが存在することが考えられる。この点から(1)の実現は必須である。また(2)の実現によって、複数のカメラエージェントで対象を同時観測する場合、単独のカメラで行ったときより良い結果を得ることが期待できる。さらに(3)に対処することで、分散システムにおいて想定される「一部のエージェントの動作停止」や「新たなエージェントの追加」といったイベントに柔軟に対応できるようになる。

一方、本システムのように「視覚機能を持つエージェントの協調」によってタスクを実現する試みは、分散協調視覚プロジェクト<sup>6)</sup>やVSAM Project<sup>7)</sup>、西尾らのシステム<sup>8)</sup>でも行われている。前者のプロジェクトで行われている研究<sup>9)</sup>では、観測対象は複数のエージェントが同時観察可能な領域に存在することを想定しており、我々が目的とする「不可視領域を含む実環境」のような状況での動作は不可能である。また文献<sup>8)</sup>は複数の視覚システムを用いて交差点車両追跡を行ったものだが、文献<sup>9)</sup>と同様、つねにいずれかのカメラで対象が観測可能であることを想定しているため同様の問題が生じる。またこのシステムでは複数のエージェントが単一のホスト上で動作する構成となっており、耐障害性の点で問題が残る。

## 2. 人物追跡と協調アルゴリズム

本章ではエージェントの動作アルゴリズムの概要を説明する。カメラエージェントは、異なった観察視野を持つエージェント間で連続的に人物を追跡するために、追跡対象となる人物ごとに以下の3つのモードを切り替えながら動作する。

- (1) 人物がカメラの観察視野内にいる場合、画像処理によってその追跡・位置検出を行う。

- (2) 複数のエージェントが同時に人物を観測している場合、各エージェントは互いの観測結果を交換し、より精度の高い結果を求める。
- (3) 人物が「他のエージェントの観察領域であるが自分は観察できない領域」や「すべてのエージェントから不可視である領域(不可視領域)」から「自分の観察領域」内へ進入してくるとき、進入予測位置・領域において人物発見(捕捉)動作を行い、人物を発見する。

(1)の人物追跡・位置検出は我々がすでに提案した人物追跡<sup>4)</sup>によって可能となっており、2.1節においてその概略を説明する。一方、(2)および(3)の動作を実現するには、①画像から人物を捕捉する、②互いの検出誤差特性を考慮して予測位置を求める、③他のエージェントの観察領域と自分の観察領域との関係から進入予測領域を求め、人物の出現を待機する、④他のエージェントへ人物の進入予測位置を指示する、などの処理が必要となる。①の実現は画像処理による人物追跡手法の拡張で可能であり、2.2節で解説する。一方②~④の処理には、複数のエージェントがコミュニケーションを行う「協調処理」が必須であり、2.3~2.4節で詳説する。また2.5節では1章で指摘した「一部のエージェントの障害や新規エージェントの柔軟な組み入れ」を可能にする手法について述べる。

### 2.1 人物追跡

カメラエージェントで行われる人物追跡は、人物を1つの楕円体で近似しそのカメラへの写り方をシミュレーションした画像と、背景差分・2値化された実画像との比較に基づいたものである(図1)。

- (1) カメラから入力された画像はあらかじめ得られた背景画像を用いて差分・2値化される。
- (2) 人物を楕円体で近似し、あらかじめ得られているカメラパラメータを用いて実際のカメラからの見え方をシミュレーションする。この際、楕円体の位置を現在の人物位置から微小移動させ、複数のシミュレーション画像を得る。
- (3) 入力画像と複数のシミュレーション画像を比較し、最も相関の高いものを人物の現在位置として更新する。

本手法ではすべての処理をカメラパラメータ取得時に使用した実環境中の世界座標系で行っているため、人物位置の計測結果も世界座標系で得られる。また複数の人物の写り方を同一画像内にシミュレーションすることで、複数人物の同時追跡が可能である。処理速度としては汎用PCを用いて、1人物の場合20~30 frame/sec、2人物の場合10~15 frame/secであり、

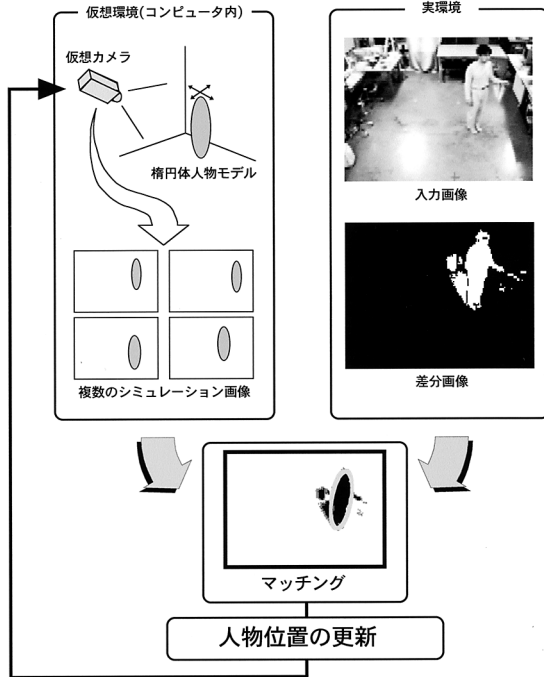


図1 人物追跡アルゴリズムの流れ  
Fig.1 Flowchart of human tracking algorithm.

歩行する程度の速さで動く人物を追跡可能である。検出精度としては誤差平均で 0.1 ~ 0.2 m 程度である。

2.2 人物捕捉

上で述べた追跡処理は人物の初期位置が既知であり、前フレームの追跡が成功している場合に適用できる。しかし、本システムでは追跡開始時の状況として以下の2種が想定されるため、その際の人物捕捉が必要となる。

- (1) 他のエージェントによって追跡されている人物が共同観察領域に進入する場合。
- (2) 不可視領域にいる人物の出現を待機する場合。

第1の状況では、楕円体の位置を世界座標系の1点に固定して生成したシミュレーション画像を用い、その位置付近に存在する人物を捕捉する。また第2の状況では、楕円体モデルの生成位置を人物の出現可能性のある比較的広い領域にわたって設定する。捕捉動作で生成されたシミュレーション画像と入力画像の評価値がしきい値以上になると追跡動作に移行する。

2.3 カメラ視野をもとにしたタスク制御

以上で述べた人物追跡・捕捉動作をもとに、複数のカメラエージェント間で連続して人物を追跡する手法を考える。カメラエージェントが持つカメラは環境に対して固定されているため、あらかじめすべてのエージェントの観察可能領域を計算しておき、人物の現在

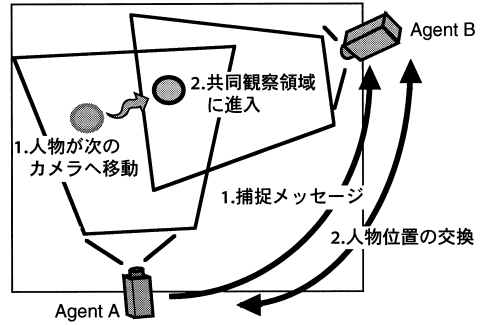


図2 人物が複数のカメラ視野を移動する場合の動作  
Fig.2 The action of camera agents when a person is in a overlapping area.

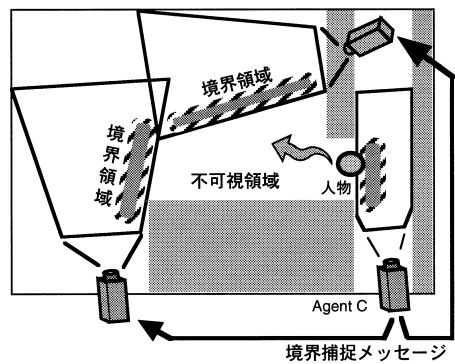


図3 人物が不可視領域へ移動する場合の動作  
Fig.3 The action of camera agents when a person is in a unwatched area.

位置に応じて追跡を行うエージェントを切り替えるというタスク制御を行う。

人物が共同観察領域にいる場合(図2), 複数のエージェントが検出した人物位置を交換しながら追跡を行う。複数視点から同時に対象人物の位置計測を行うことになるため、計測結果を統合することでより正確な人物位置を推定することができる。また図3のように、カメラエージェントの観察領域の間に「不可視領域」が存在することも想定する。この場合には、その領域に接する観察領域を持つエージェントが、観察領域の境界で捕捉動作を行い人物の出現を監視する。捕捉動作を行ういずれかのエージェントが人物の出現を検出すると、その情報を他のエージェントに伝えることで捕捉動作を終了する。

2.4 隣接エージェント間の通信によるタスク制御

エージェントのタスク制御は、観察領域が重複・隣接するエージェント間でタスク制御メッセージを交換することによって行われる。これは「人物は隣接する観察領域間しか移動しない」ことに注目したものであ

る．タスク制御メッセージは「捕捉メッセージ」「境界捕捉メッセージ」「捕捉停止メッセージ」の3種があり、状況に応じて使い分けられる．

図2の状況では、エージェントAが追跡を行っているが、人物はエージェントBとの共同観察領域に進入しつつある．このときエージェントAはエージェントBに、現在の人物位置情報を格納した「捕捉メッセージ」を送る．エージェントBは受け取った人物位置において捕捉を行う．

図3は人物が複数エージェント間の不可視領域に進入した状況である．この場合人物が不可視領域に進入したことを判断したエージェントCが、不可視領域に隣接するすべてのエージェントに「境界捕捉メッセージ」を送る．いずれかエージェントが人物の出現を検出すると、そのエージェントが他のエージェントに対し「捕捉停止メッセージ」を送ることで境界捕捉動作を終了する．

### 2.5 新規エージェントの追加と動作停止の検出

本システムは複数の自律エージェントの協調によってタスクを実現するが、このようなシステムではすべてのエージェントがつねに正常動作することは仮定できない．つまり「一部のエージェントが動作停止してもシステム全体の動作に影響を及ぼさない」「新規エージェントの起動時に柔軟にシステムに組み入れる」ことを可能にする仕組みが必要となる．

新規エージェントの追加は、起動したエージェントが自分の情報（カメラパラメータおよび画像サイズ）を記録したアナウンスメッセージをブロードキャストすることで行う．一方、エージェントの動作停止の検出はタスク制御メッセージの送出時に検出できる．あるエージェントが隣接エージェントにタスク制御メッセージを送信すると、メッセージを受け取ったエージェントは確認メッセージを返す．この返信がない場合にはエージェントが動作停止したと判断し、すべてのエージェントに障害情報をブロードキャストする．エージェントの追加や障害情報を受け取ったエージェントは、更新されたシステム全体の情報（システムパラメータ）をもとに自己の情報を更新する．

## 3. システムの構成

本システムは、複数台のカメラエージェントと1台以上のシステムパラメータ管理エージェントから構成される．

### 3.1 カメラエージェント

カメラエージェントはカメラが接続された画像処理ワークステーションで、観察領域内の人物追跡や位置

検出、隣接するカメラエージェントのタスク制御を行う．カメラエージェントのソフトウェア構成を図4に示す．追跡状態変数はそのカメラで観察している人物数だけ確保され、各人物の位置や追跡状態（追跡・捕捉・境界捕捉）が記述されている．システムパラメータには、動作しているすべてのカメラエージェントのカメラパラメータと画像サイズが保持される．追跡ルールは、動作中の全カメラエージェントの観察視野がマッピングされた環境マップで、ここから他のカメラエージェントの観察領域、視野が重なる他のエージェント、視野が隣接する他のエージェントとそれに対応する境界領域の情報を得ることができる．

図5にカメラエージェントの動作の流れを示す．エー

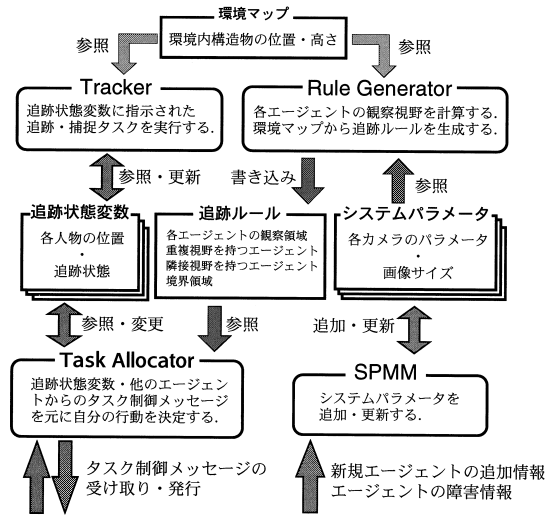


図4 カメラエージェントのソフトウェア構成

Fig. 4 The software architecture of a camera agent.

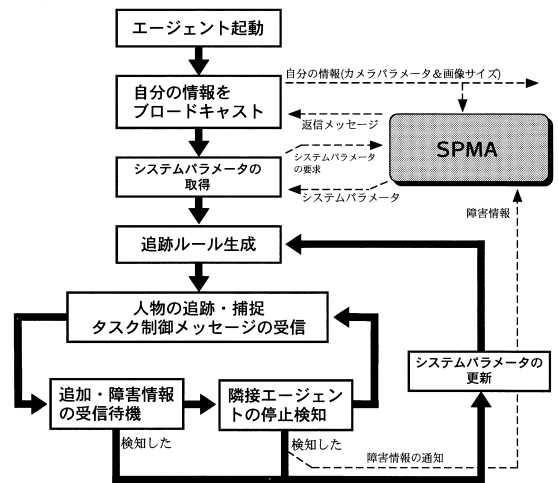


図5 カメラエージェントの動作の流れ

Fig. 5 The flowchart of the camera agent.

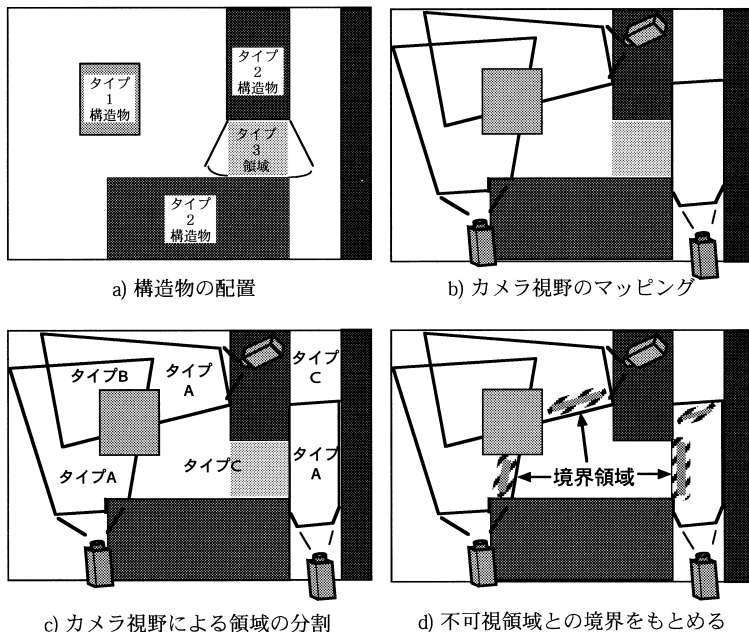


図 6 ルール生成モジュールにおけるルール生成の流れ

Fig. 6 The rule generating algorithm which is run on the Rule Generator.

エージェントは起動すると自分の情報を他のエージェントにブロードキャストするとともに、システムパラメータ管理エージェントからシステムパラメータを取得する。次に得られたシステムパラメータから追跡ルールを生成し、それをもとに追跡・捕捉・メッセージの待機などの動作を行う。他のエージェントから新規エージェントの追加や既存のエージェントの障害情報を受け取った場合は、システムパラメータを更新し追跡ルールを再構成する。以下では各動作モジュールについて述べる。

( a ) 画像処理モジュール ( Tracker )

2章で述べた手法で人物の追跡・捕捉を行う。その動作は追跡状態変数に書き込まれた追跡状態に従い、記述された各人物ごとに「追跡・捕捉・境界捕捉」のいずれかの動作を実行する。

( b ) システムパラメータ管理モジュール ( System Parameter Management Module: SPMM )

エージェントが保持するシステムパラメータを追加、更新する。またエージェントの起動時には自分のカメラパラメータおよび画像サイズを含んだ情報をブロードキャストする。これに対してシステムパラメータ管理エージェントから返信メッセージが返されるため、そのネットワークアドレスを得ることができる。次にシステムパラメータ管理エージェントに対してシステムパラメータの引き出し要求メッセージを送り、動作

中の全エージェントの情報を取得する。また SPMM はネットワークを常時監視し、エージェントの追加メッセージや障害メッセージを受け取ると自己のシステムパラメータを更新する。

( c ) ルール生成モジュール ( Rule Generator )

システムパラメータとあらかじめ与えられた環境マップから追跡ルールを生成する。環境マップは人物追跡手法にも用いられるもので、環境中の壁や机、パーティションなどのオブジェクトに関する位置や大きさ、床面からの高さが記述されている。ここで、これらのオブジェクトを床面からの高さによって以下のように分類する。

- タイプ 1) 通過不能であり背後にあるものを隠蔽するオブジェクト。
- タイプ 2) 通過不能だが背後にあるものを隠蔽しないオブジェクト。

またこれらのオブジェクト情報のほかに、タイプ 3) 通過可能だが隠蔽されている領域。も設定しておく。これは扉によって囲まれた領域などを表す ( 図 6 ( a ) )。一方システムパラメータにはすべてのエージェントのカメラパラメータと画像サイズが記述されているので、ここから各エージェントの観察領域を計算する。次に、各エージェントの観察領域をビットマップ表現された環境マップ上に投影する ( 図 6 ( b ) )。この際「エージェントのレンズ主点との間に

タイプ 1 のオブジェクトが存在する領域」は、そのエージェントから不可視とする。この情報を用いて、環境マップを 3 種に分割する ( 図 6 (c) ) 。

- タイプ A) 単独のエージェントの観察可能領域
- タイプ B) 複数のエージェントの観察可能領域
- タイプ C) 不可視領域

このように観察視野がマッピングされ分割された環境マップを追跡ルールとして記録する。これを用いることで「観察領域が重なるエージェント」、「不可視領域を挟んで隣接しているエージェント」、「タイプ C と接しているタイプ A 領域の境界領域」を得ることができる ( 図 6 (d) ) 。この追跡ルールによって、エージェントの行動決定時に必要となる他のエージェントとの関係 ( 観察領域の重なりや隣接 ) や不可視領域との境界、人物の存在領域検出などの情報獲得が可能になる。

#### ( d ) タスク指示モジュール ( Task Allocator )

エージェントの追跡状態変数と他のエージェントからのメッセージをもとに追跡・捕捉タスクを決定し、他のエージェントにタスク制御メッセージを送る。その構造は図 7 に示すように、追跡状態変数と他のエージェントからのタスク制御メッセージを遷移条件として内部状態を変化させる状態遷移器である。以下ではタスク指示モジュールがとる状態について説明する。

##### ( 1 ) IDLING 状態

他のエージェントから「捕捉」あるいは「境界捕捉」のタスク制御メッセージを受け取ると ACQUISITION 状態あるいは ACQUISITION ON BORDER 状態に移行する。

##### ( 2 ) ACQUISITION 状態

指定された座標において人物の捕捉動作を行う。捕捉に成功すれば、タスク制御メッセージを割り当てたエージェントに成功メッセージを送り TRACKING 状

態に移る。

##### ( 3 ) ACQUISITION ON BORDER 状態

不可視領域との境界部分で捕捉動作を行う。複数の不可視領域と接している場合は、タスク制御メッセージの送信元エージェントと接する不可視領域との境界を選択する。人物が出現し捕捉に成功した場合は、不可視領域に接したすべてのエージェントに捕捉停止メッセージを送り TRACKING 状態に移る。他のエージェントから捕捉停止メッセージを受け取った場合は IDLING 状態に戻る。

##### ( 4 ) TRACKING 状態

単一エージェントで追跡を行う。検出された人物位置が他のエージェントとの共同観察領域に入れば、そのエージェントに捕捉動作のタスク制御メッセージを送る。そのエージェントが人物の捕捉に成功し、成功メッセージを返した場合には COOPERATIVE TRACKING 状態に移る。また、人物の追跡に失敗した場合は SEARCH NEXT AGENT 状態に移行する。

##### ( 5 ) COOPERATIVE TRACKING 状態

複数のカメラエージェントで同時に人物を追跡する。エージェントは互いの検出結果を交換し、検出結果を統合して人物位置の推定を行う。ここでは、各カメラエージェントのカメラ位置 ( レンズ主点 ) と、そのカメラエージェントで得られた人物位置を結ぶ直線の交差点を推定人物位置とする。これは Tracker で行われる人物追跡手法ではカメラの視線方向 ( 奥行き方向 ) への検出誤差が大きいので、この影響を受けにくくするためである。相手のエージェントから一定時間検出結果を受け取らなかった場合、そのエージェントは追跡不能になったと判断し TRACKING 状態に戻る。

##### ( 6 ) SEARCH NEXT AGENT 状態

人物が不可視領域に進入した場合の処理を行う。エージェントは追跡ルールを用いて人物が移動したと考えられる不可視領域を求め、その領域に隣接するエージェントに境界捕捉メッセージを送る。

### 3.2 システムパラメータ管理エージェント

#### ( System Parameter Management Agent: SPMA )

SPMA はシステムパラメータを保持・更新し、カメラエージェントからの要求に応じてシステムパラメータを与える。ネットワーク上に複数の SPMA が存在する場合、各エージェントが持つシステムパラメータは同一になるように保たれる。このエージェントの構成は図 8 に示すように、システムパラメータ、情報管理モジュール、情報通信モジュール、情報同期モジュールからなる。情報管理モジュールはカメラエージェン

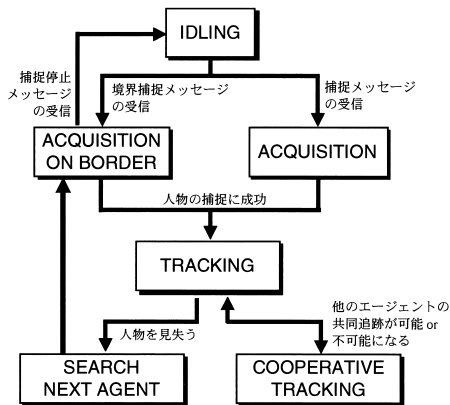


図 7 タスク指示モジュールの状態遷移

Fig. 7 The state transition of the Task Allocator.

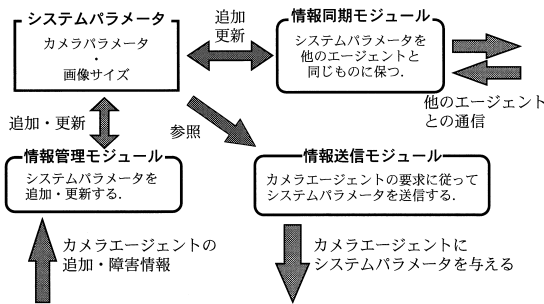


図8 システムパラメータ管理エージェントの構成  
Fig. 8 The architecture of the System Parameter Management Agent (SPMA).

と同じもので、システムパラメータを追加・更新する役割を果たす。情報通信モジュールは、カメラエージェントからの要求に応じて自らが保持するシステムパラメータを送信する。情報同期モジュールは、他のシステムパラメータ管理エージェントと一定時間ごとに通信し、互いの情報が同じになるように保つ。

SPMAは、1つのシステムに対して複数動作させることができる。これは耐障害性の点で有利なだけでなく、通信の障害などで「一部のエージェントには登録されているが、他のエージェントには登録されていないカメラエージェントが存在する」という状況が生じても互いの情報を参照しあうことで防ぐことができる。

#### 4. 実験と検討

本手法の有効性を確認するため、複数のカメラエージェントを用いて人物の追跡実験を行った。

##### 4.1 実験環境

実験環境およびカメラ配置、その観察視野を図9に示す。水平床面上の適当な場所に世界座標系原点 (Z軸が鉛直方向上向き) を置き、人物を斜め上方から見下ろす配置で4台のカメラを設置した。

部屋内はカメラ1, 2の2台のカメラで観察され、通路も同様にカメラ3, 4によって観察される。部屋内を観察する2台のカメラの観察領域は重複しているが、通路を観察するカメラの観察領域は離れている。また部屋と通路の間には2つの扉で挟まれた不可視領域が存在している。カメラ1~4にはそれぞれ、SGI-Octane (MIPS R10000-175 MHz), O2 (R10000-175 MHz), Indigo2 (R4400-250 MHz), Indy (R4400-133 MHz) が接続され、映像は縦横各 120 × 160 Pixel の大きさで取り込まれ処理される。また、システム管理エージェントは他のワークステーション (Indy R4400-100 MHz) 上で動作させておく。

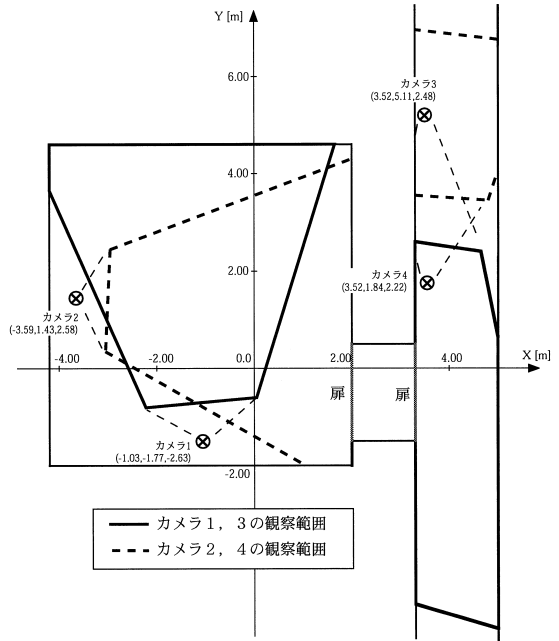


図9 実験環境とカメラ配置  
Fig. 9 The experiment environment and camera positions and viewing areas.

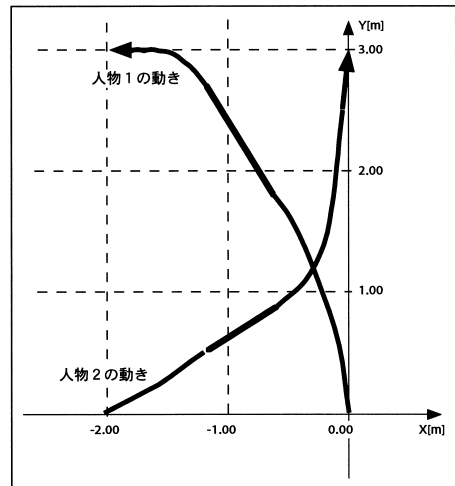


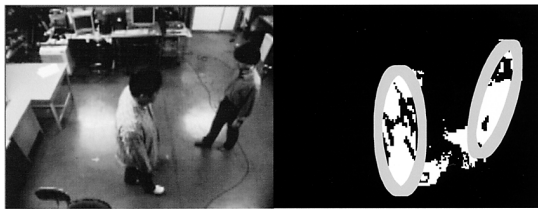
図10 2人物の歩行軌跡 (実験1)  
Fig. 10 The trajectories that two persons walked in Experiment 1.

##### 4.2 位置軌跡の評価実験 (実験1)

部屋内を観察する2台のカメラエージェント1, 2によって2人の人物を同時に追跡し、検出軌跡を評価する。2人物の通過軌跡を図10に示す。人物通過範囲は両カメラがともに観察できる領域にあり、追跡中のすべてのシーンにおいて2台のカメラが追跡しつづけることが可能だった。実験はカメラ1, 2の単独追跡およびカメラ1, 2の共同追跡の3種で行った。実

験においては、あらかじめカメラ1, 2で撮影される画像をビデオディスクに撮影しておき、それらをリアルタイムで再生・入力処理した。これにより同じ入力画像を用いて3種の計測を行うことができる。

実験中の映像を図11に、各実験で計測された通過軌跡を図12に示す。カメラエージェント1, 2の単独追跡では、画面上の人物領域が重なる状態(図11(b))において計測誤差が大きくなっていることが確認できる。一方、カメラエージェント1と2による同時追跡を行い検出結果を統合した結果では、同様の状況で



(a) 人物領域が分離している状態



(b) 人物領域が重なっている状態

図11 実験中の画像(実験1)(左:入力濃淡画像,右:背景差分画像と楕円体モデルの輪郭を重ね合わせたもの)

Fig.11 Pictures acquired in Experiment 1 (Left: Input grayscale image, Right: Background subtraction images overlapped with the edges of ellipsoid-human-model).

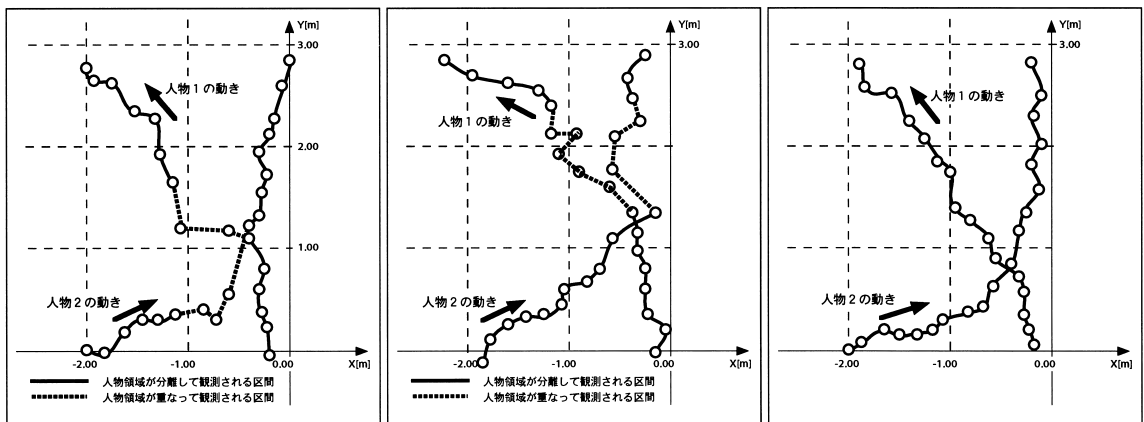
も安定した通過軌跡が得られている。これは、一方のエージェントで人物領域が重なっても、他方のカメラで分離して観測されているため、両者の検出結果を統合することでより安定した位置検出結果が可能になったものと考えられる。

4.3 エージェントの動作状態変化の観察(実験2)

4台のカメラエージェントが観察する環境中を2人物が歩き回るタスクを行い、その計測結果および各エージェントの動作状態を観察する。人物の通過軌跡を図13に示す。人物1, 2はそれぞれ通路の両端からカメラ3, 4の観察領域へ進入し、順次扉を通して部屋内に入り歩きまわる。この状況に対して生成された追跡ルールを図14に示す。カメラ1とカメラ3, カメラ3とカメラ4の間に不可視領域が存在し、境界領域が設定されていることが確認できる。実験に際しては、カメラ3, 4に対して初期的に通路の両端で境界捕捉動作を行うように設定しておく。カメラエージェントから得られた人物位置の検出結果を図15に、人物1に対するカメラエージェントの状態変化を図16に示す。これらから分かるように、通路での不可視領域や部屋と通路間の不可視領域の境界部分で捕捉領域が設定されており、妥当な追跡ルールが生成されている。また実際の実験でも、扉部分での捕捉動作によって、不可視領域から出現する人物を捕捉・追跡することが確認できた。

4.4 一部のエージェントの追加・動作停止に対する実験(実験3)

エージェントの追加やエージェントの動作停止といったイベントを意図的に発生させ、システムの耐障害性を評価する。実験環境やカメラ配置、人物の移動など



(a)カメラ1による計測結果

(b)カメラ2による計測結果

(c)カメラ1&2の計測結果の統合

図12 人物追跡結果(実験1)

Fig.12 Measurement results that achieved by camera 1, camera 2 and coordination in Experiment 1.



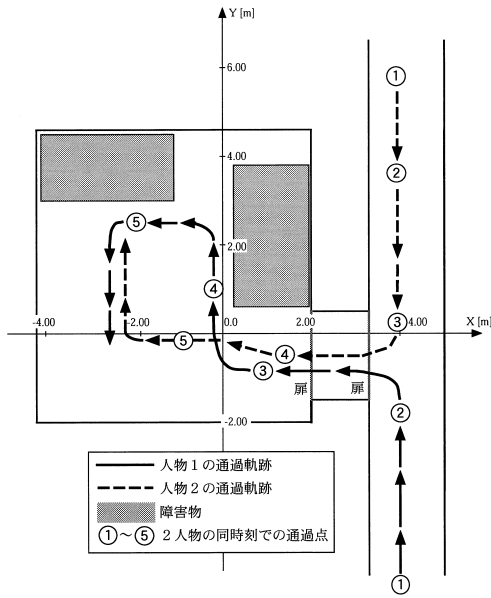


図 13 人物の歩行経路 (実験 2)

Fig. 13 The trajectory of two persons in Experiment 2.

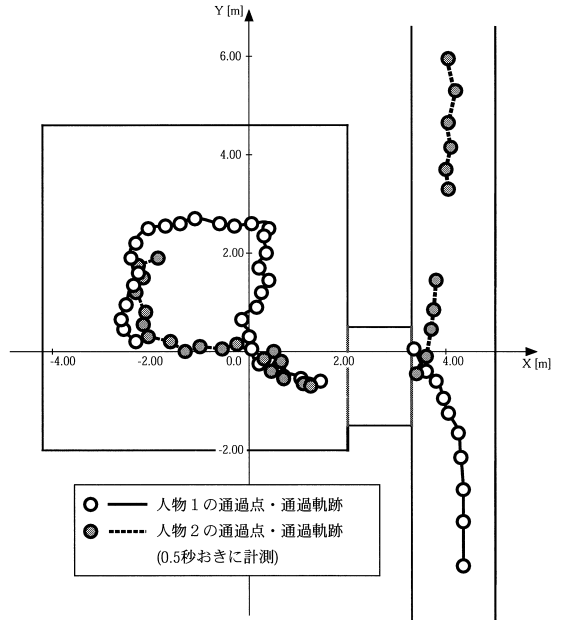


図 15 2 人物の歩行軌跡の検出結果 (実験 2)

Fig. 15 The measurement result of two person's trajectory in Experiment 2.

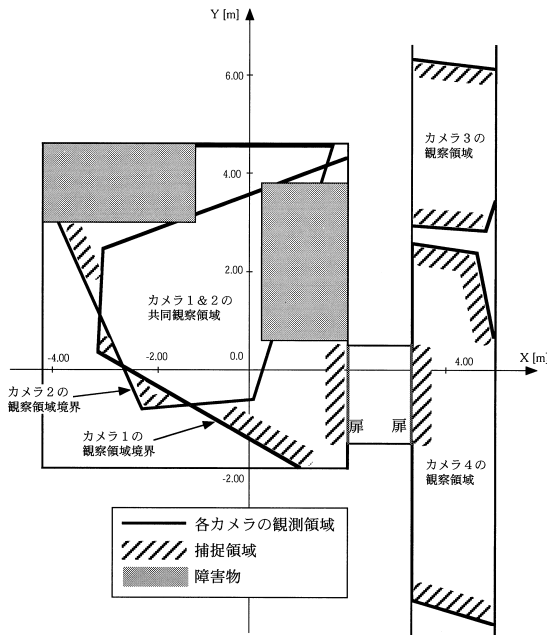


図 14 4 台のカメラエージェントによって生成された追跡ルール  
Fig. 14 The tracking rule map generated by four camera agents.

は前節と同様である。まず実験開始時にはカメラエージェント 1, 3, 4 を動作させておき, 人物 1 が部屋内に進入するのを待つ。この際 3 台のエージェントが生成した追跡ルールは図 17 のようになった。人物が部屋内に進入しエージェント 1 が追跡を開始すると, エージェント 2 を起動させ人物 2 の入室を監視する。

このときすでに起動していたエージェント 1, 3, 4 はエージェント 2 の起動を検知し, 追跡ルールの再構築を行った。この際生成された追跡ルールは前節の実験と同様 (図 14) であった。最後にエージェント 2 を動作停止させ, エージェント 1 単独で追跡を行わせる。この際生成された追跡ルールは再び図 17 のようになった。4 台のエージェントの状態変化を図 18 に示す。実験中には, エージェント 1 の起動および動作停止というイベントが生じたが, それに応じて各エージェントが追跡ルートを再構築し, 適切なプランを実行しているのが確認できた。特に通路と部屋間の不可視領域から部屋内に人物が出現する際, エージェント 2 が動作している際にはエージェントが扉付近で捕捉動作を行ったが, エージェント 2 が動作していない場合にはエージェント 1 が捕捉動作を行う, といった役割分担が動的に変更されることが確認できた。

#### 4.5 検 討

##### (1) システムの性能

想定された環境において, 本手法が有効に機能することが確認できたと思われる。2 人物の歩行軌跡を評価する実験では, 人物を 1 台のカメラエージェントで追跡・位置検出した結果と, 2 台のカメラエージェントの検出結果を統合して位置推定した結果を比較した。1 台のカメラエージェントのみでは, 画面上で

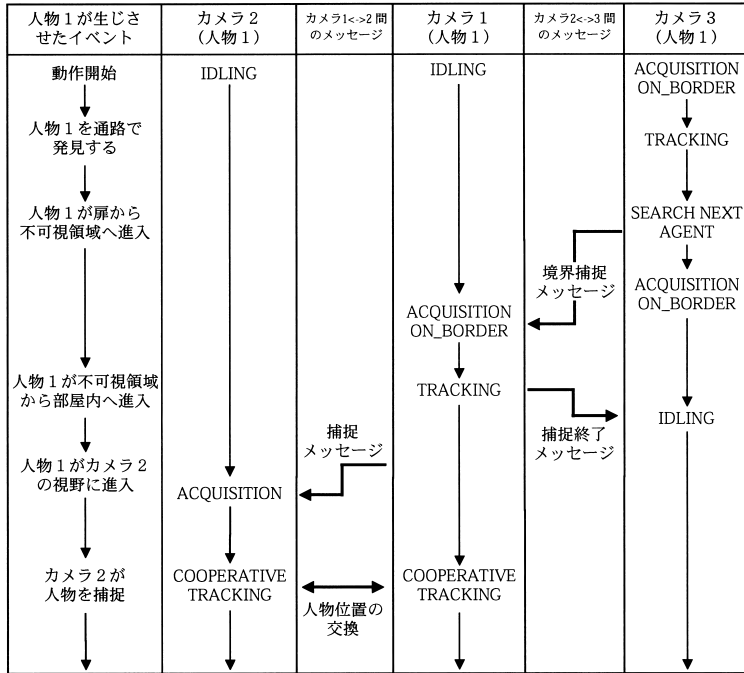


図 16 人物1に対するカメラエージェントの状態変化 (実験2)  
 Fig. 16 The state transition of four camera agents in Experiment 2.

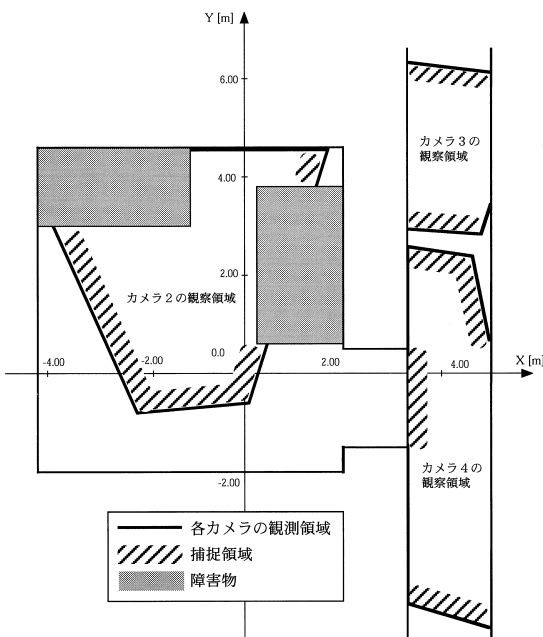


図 17 初期的に生成された追跡ルール (実験3)  
 Fig. 17 The initial tracking rule map in Experiment 3.

の人物領域が交差したときの計測誤差が大きくなったが、2台のカメラエージェントを用いると安定した歩行軌跡が得られることが確認できた。第2の実験では

不可視領域を挟んだ広域環境で、エージェントが協調して人物追跡を行うことが確認できた。エージェントの追加や障害に対する第3の実験では、小規模なシステムではあるがカメラエージェントの追加や障害を自動的に検知し追跡プランを更新する仕組みによって、人物を連続的に追跡し続けることが確認できた。処理速度に関しては、人物追跡処理が最も大きな計算処理を必要とし、協調処理部分はそれほど大きな計算量は必要としない。現在の人物追跡手法では、1台のエージェントで1人を追跡した場合 30 frame/sec, 2人の場合でも 15 frame/sec ほどの処理速度で行われており、協調処理を加えても実時間処理が可能であった。また今回の実験では、機材や開発環境の関係からワークステーションを用いたが、汎用PCを用いても同等以上の性能が得られると考えられる。

(2) エージェント間の複数人物の誤対応

実験1において2人の人物が画面上で交差した場合に「人物モデルと追跡人物の入れ換わり」という現象が生じ、2台のカメラエージェント間で2人物の対応付けを誤ってしまうことがあった。これにより統合結果自体も誤りが大きくなることが観測された。これは本システムにおける追跡手法に依存する問題ではあるが、今後カメラ間の人物識別機構を導入することで解決していくことが考えられる。

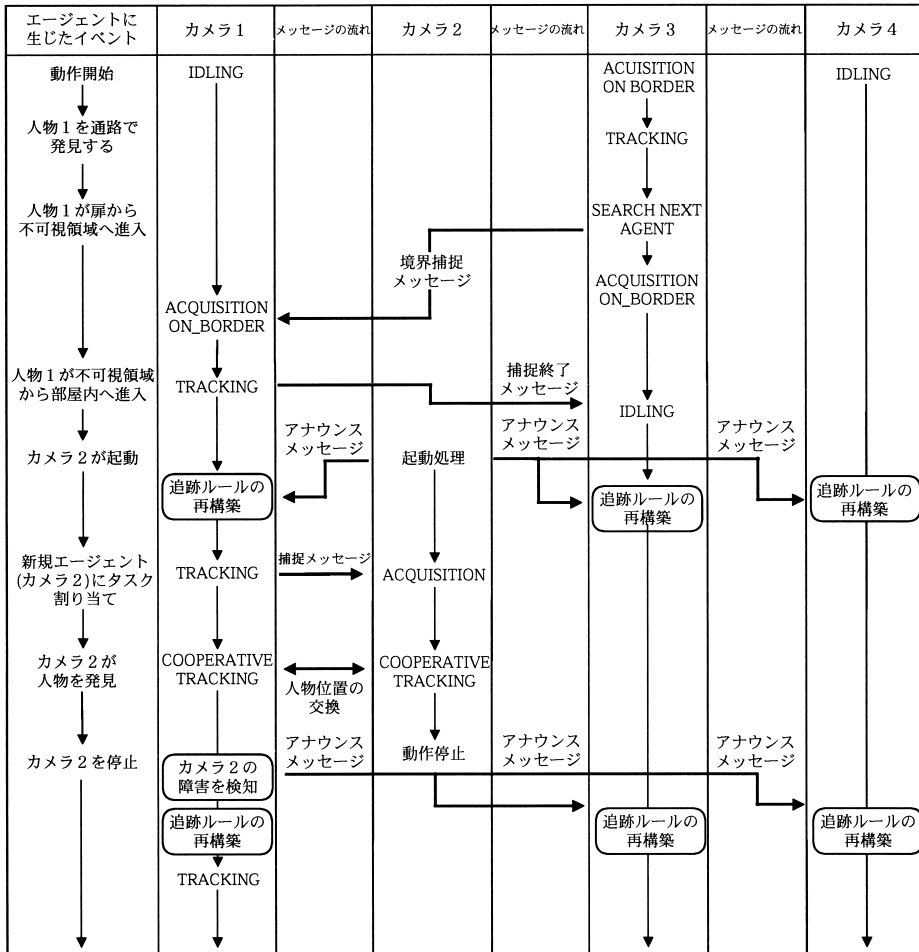


図 18 エージェントの追加・停止実験における状態変化 (実験 3)  
 Fig. 18 The state transition of four camera agents in Experiment 3 for testing robustness of this system.

(3) 観察の非同期性によって生じる問題

カメラエージェントでの観察は非同期で行われているため、エージェント間の観測時刻の相違が観測結果の統合時に問題となる場合がある。

観測時刻の相違は①画像取得・処理タイミングの相違、②通信による遅延、の2種類の要因が考えられる。このうち②に関しては、本システムがLAN上に構築されているということもあり無視できるが、①に関してはエージェント間に最大で追跡1フレームの処理時間分の時刻差が生じることになる。画像処理モジュールの性能は1フレーム間に最大150mm移動する場合まで追跡可能なため、これによって生じるエージェント間の計測値の差異は最大150mmとなる。この差異が統合結果に及ぼす影響は、カメラ配置や人物の移動方向に左右されるが、状況によっては1台の計測よりも誤差が大きくなる可能性は否定できない。この問題

に対しては、各エージェントから送られる情報に観測時刻や人物の移動速度・移動方向の情報を付け加えることで、人物位置を予測し統合を行うことなどの解決方法が考えられる。

(4) 追跡ルールの妥当性

本システムでは、環境をカメラエージェントの観察領域に応じて分割し、人物は隣接した分割領域間を移動すると仮定されている。しかし、分割された各領域が画像処理モジュールで1フレーム間に計測できる人物移動距離(150mm)よりも小さい場合、人物がその領域を飛び越して、離れた領域に移動してしまうことが考えられる。この場合先に述べた仮定が成り立たないことになり、システムが正常動作できない。つまり、システム構築時のカメラ配置の段階から、分割された各領域の大きさが十分大きくなるように注意する必要がある。

また、今回の実験システムではカメラエージェントの台数が4台と少なかったためルール生成に要する計算量は少なかったが、より多くのエージェントを用いた大規模システムではルール生成に要する計算量も多くなり、実時間処理が困難になる可能性がある。この問題に対しては「明らかに観察領域が離れてしまうエージェント」の情報は用いないなどの対処方法が考えられる。

## 5. まとめ

本論文では、視覚機能を持つ複数の自律エージェントを用いて広域環境中の人物位置検出を行う「分散カメラシステム」を提案した。エージェント間の協調手法として、環境地図とカメラ視野から追跡プランを生成し、地形的に隣接するエージェントの通信によってタスク制御を行う手法を提案した。システム全体を制御する機構を設けるのではなく、自律したエージェントの組合せによって動作するため、一部のエージェントの障害や新規エージェントの追加に柔軟に対処されることが確認された。今後はカメラエージェント間での人物識別機構を開発し組み込むことでより安定したシステムを構築することや、パン・チルト・ズームカメラの導入、安定した追跡を可能にするカメラ配置の自動決定機構などを考えている。

## 参考文献

- 1) 丹 康雄, 日比野靖: 位置情報ブローカの提案とそのアーキテクチャ, 情報処理学会研究報告, 97-MBL-2, pp.7-12 (1997).
- 2) 清水孝一: 徘徊者定位システムの開発—バイオテレメトリによる在宅医療支援, 日本 ME 学会雑誌, Vol.10, No.5, pp.3-10 (1996).
- 3) 河村邦明, 清水孝一, 山本克之: 痴呆性徘徊老人対処システムの開発—移動体通信と GPS による徘徊者定位の試み, 電子情報通信学会技術報告, MBE94-96, pp.93-98 (1995).
- 4) 加藤博一, 中澤篤志, 井口征士: 楕円体モデルを用いたリアルタイム人物追跡, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.11, pp.4087-4096 (1999).
- 5) Maeda, T., Kato, H. and Inokuchi, S.: Image Fusion System for Object Tracking, *Proc. Japan U.S.A. Symposium on Flexible Automation*, pp.365-368 (1992).
- 6) 松山隆司, 浅田 稔, 美濃導彦, 和田俊和: 分散協調視覚プロジェクト—分散協調視覚研究, システム開発の概要, 情報処理学会研究報告, 97-CVIM-103, pp.25-34 (1997).
- 7) Haritaoglu, I., Harwood, D. and Davis, L.S.:

Hydra: Multiple people detection and tracking using silhouettes, *2nd International Workshop on Visual Surveillance*, pp.6-13 (1999).

- 8) 西尾秀一, 大田友一: 複数画像センサの統合による交差点車両追跡, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU'92), pp.I-169-176 (1992).
- 9) 松山隆司, 和田俊和, 丸山昌之: 能動知覚エージェントによる移動物体の協調的追跡, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU'98), pp.I-365-370 (1998).

(平成 11 年 10 月 27 日受付)

(平成 12 年 9 月 7 日採録)



中澤 篤志 (学生会員)

1974 年生。1997 年大阪大学基礎工学部システム工学科卒業, 1999 年同大学院基礎工学研究科修士課程修了。現在, 同博士後期課程在学中。画像計測, 分散視覚システムの研究に従事。ヒューマンインタフェース学会, IEEE 各会員。



加藤 博一 (正会員)

1963 年生。1986 年大阪大学基礎工学部制御工学科卒業。1988 年同大学院修士課程修了。1989 年同大学基礎工学部助手, 1996 年講師。1998 年ワシントン大学客員研究員。1999 年より広島市立大学情報科学部助教授。工学博士。ヒューマンインタフェース, 画像計測の研究に従事。ヒューマンインタフェース学会, 電子情報通信学会, 計測自動制御学会, ACM 等会員。



井口 征士 (正会員)

1940 年生。1962 年大阪大学工学部電気工学科卒業。1964 年同大学院修士課程修了。1965 年同大学基礎工学部助手。1969 年助教授。1984 年教授 (現同大学院基礎工学研究科システム人間系) (財) イメージ情報科学研究所関西研究センター所長兼任。1966~67 年フランス・サクレー原子力研究所, 1979~80 年南カリフォルニア大学画像処理研究所客員。工学博士。専門はパターン計測, 特に三次元画像・音響信号等の計測。感性情報処理。著書「三次元画像計測」「感性情報処理」等。電子情報通信学会, 計測自動制御学会, システム制御情報学会, 人工知能学会, 日本ロボット学会, IEEE 等会員。