

アクティブカメラ群による対象追跡ならびに 全観測領域の協調監視の評価

青木 勝司† 吉田 篤† 荒木 昭一††

† 松下電器産業株式会社 先端技術研究所 知能情報技術研究所

†† 松下電器産業株式会社 パナソニックシステムソリューションズ社 技術本部 開発センター

あらまし: 対象追跡を行うと共に、観測領域内に動的に発生する死角領域が減少するように、複数のアクティブカメラが撮影領域を調整する協調監視システムを提案する。提案システムは、個々のアクティブカメラが自身の撮影領域を他アクティブカメラの撮影領域または観測領域境界とオーバーラップさせる協調動作を行うことにより、死角領域を減少させる。我々は、実機システムおよびシミュレーション評価において、対象追跡時およびアクティブカメラ数の増減時において動的に発生する死角領域が減少するように、提案システムが撮影領域を調整する動作を行うことを確認した。

Functional Assessment of Cooperative Object Tracking and Surveillance of Whole Observation Area by Active Cameras

Katsuji Aoki† Atsushi Yoshida† Shoichi Araki††

† Intelligent Processing Technology Research Laboratory, Advanced Technology Research Laboratories, Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.

†† Development Center, Corporate Engineering Division, Panasonic System Solutions Company, Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.

Abstract: This paper proposes a new cooperative surveillance system which provides not only cooperative object tracking but also surveillance of whole observation area by active cameras. In the proposed system, each active camera adjusts their observation area to decrease blind spots in the whole surveillance area by overlapping into neighboring areas observed by other active cameras. Using by actual equipment system and simulator software, we made a functional assessment of decreasing blind spots in the whole surveillance area during object tracking, by increasing and decreasing number of active cameras.

1. はじめに

近年、犯罪発生率の増加に伴い、カメラによるセキュリティシステムの重要性が高まっている。セキュリティ用途では特に、人物や行動などを特定するために、対象を注視(ズームアップ)し、詳細な画像を取得することが要求される。また、1台のカメラでは観測可能な領域に限られるため、広域な観測領域を監視する場合には複数台のカメラを必要とし、これらカメラ間で対象を連続して追跡することが要求される。

このような要求に対し、パン/チルト/ズームにより自身の撮影領域の位置を調整可能な複数台の

アクティブカメラを用いて、分散協調監視するシステムが研究されており、対象までの距離や対象の重要度をもとに対象追尾するカメラを動的に制御する DARPA のカメラ監視研究チームのシステム[1]、親カメラが検出した対象の位置情報をもとに子カメラが対象を注視追跡するシステム[2]、ネットワーク接続された計算機とアクティブカメラの組の論理モデルである「能動視覚エージェント」(Active Vision Agent, 以下 AVA) を使い、AVA が協調して対象を追跡すると共に、対象を追跡していない AVA は、カメラを旋回させて自身の周辺を撮影することにより新たな追跡対象を発見するシステム[3]などが提案されている。

しかしながら、これら従来のシステムではアクティブカメラを用いているが、対象を注視追尾していないカメラは、あらかじめ設定されている領域のみを撮影する。このため、カメラが対象を注視追尾した場合、注視追尾したカメラがそれまでに撮影していた領域内に動的に死角領域が発生し、新規追跡対象を早期に漏れなく発見する上で支障となる。更に、カメラが故意に壊されるなど、現実のセキュリティシステムにおいてはカメラが停止するケースがある。このような場合、停止したカメラがそれまでに撮影していた領域を他のカメラが継続して撮影することが望まれる。また、カメラが復旧する、または、カメラを増設した場合、解像度を向上させて観測領域を撮影することが望まれる。

本稿では、対象を注視し追跡すると共に、観測領域内に動的に発生する死角領域が減少するように、複数のアクティブカメラが撮影領域を調整する協調監視システムを提案する(図1)。提案システムは、複数台のアクティブカメラにより構成され、各カメラはパン/チルト/画角を相互に通信することにより、自身の撮影領域に隣接する領域を撮影するカメラを特定し、互いの撮影領域をオーバーラップさせる協調動作を行うことにより、動的に発生する死角領域を減少させることができる。

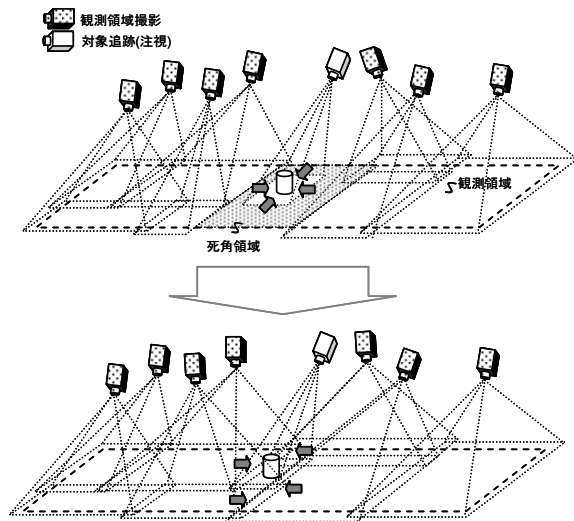


図1 提案システム

提案システムの有効性を示すため、12台のアクティブカメラを用いた実機システムを構築した。この実機システムにおいて、移動追跡対象を注視追跡させる、および、カメラ数を増減させる実験

を行い、動的に発生する死角領域が減少するように、提案システムが撮影領域を調整する動作を行うことを確認した。

また併せて、提案システムの動作を計算機上でシミュレーション評価し、様々なカメラ配置においても死角領域が減少するように、提案システムが撮影領域を調整する動作を行うことを確認した。

2. 提案システム

2.1 概要

提案システムは、複数台のパン/チルト/ズーム可能なカメラから構成される。各カメラは動的に以下に示す動作を切り替えながら対象の追跡と観測領域の撮影を行う。

対象を検出したカメラは、対象を注視しつつ追跡する(対象追跡)。一方、対象を検出していないカメラはそれぞれ、自カメラの撮影領域の各辺において、他カメラの撮影領域または観測領域境界とオーバーラップするように、自身のパン/チルト/画角を調整することにより撮影領域の調整し、死角領域を減少させる(観測領域撮影)。

対象追跡および観測領域撮影を行う提案システムにおいて、我々は、観測領域撮影の制御に特に注目している。もう一方の対象追跡の制御に関しては、対象物の検出を含めて現在までに様々な研究が行われており、我々はこれら制御手法を利用する。そして、観測領域撮影の制御と既存の対象追跡の制御が容易に組み合わせることができる枠組みで提案システムを構築するというスタンスで研究を進めている。

既存の対象追跡制御との融合の面から、提案システムは、まず、初期状態において、全カメラは観測領域撮影を行う状態にある。そして、あるカメラが対象を検出した時点で、同カメラは対象追跡を行う状態に遷移し、同カメラの制御権を既存の対象追跡制御に委任する。また、対象の消失などにより対象追尾が終了したカメラは観測領域撮影を行う状態に遷移し、既存の対象追跡制御は同カメラの制御権を放棄する。この動作中、観測領域撮影を行うカメラ数が増減するが、観測領域撮影を行う各カメラは全観測領域を撮影するように自律協調動作する。

提案システムにおける観測領域撮影は、全観測領域を撮影するためのカメラ配置決定問題と捉え

ることができる。この問題は、美術館全域を監視するためのガードマンの配置決定問題である Art Gallery Problem[4]の解法によって解くことが可能である。しかしながら、Art Gallery Problemの効率的解法の1つである Randomized Art Gallery 手法[5]であっても、カメラ台数 n に対し $n \log_2 n$ の計算時間を必要とする。このため、多くのカメラ台数を必要とする広域監視において、対象追跡などによって動的に発生する死角を減ずるようリアルタイム性を必要とするカメラ配置決定には適用が困難である。これに対し我々は、各カメラは簡単なロジックの処理のみで分散協調する手法により、観測領域撮影の制御を行っている。

2.2 対象追跡

前述したように、対象追跡の制御に関しては、我々は現在まで研究された制御手法を利用する。本稿の提案システムでは、観測環境撮影の動作を特に確認/評価するために、以下に示す単純な対象追跡の制御手法を選択した。

まず、対象検出は、撮影画像から対象物と同色の領域を切り出し、同領域のサイズが一定サイズより大きい場合に、同領域に対象物があると判断する。これにより、各カメラは自身の撮影領域内に対象を検出した場合、対象の時間毎の位置から対象の未来位置を予測し、対象の未来位置にカメラの撮影領域の中心が向くようにカメラのパン/チルト角を調整する。さらに、同対象を注視撮影するようにカメラの画角を調整する。未来位置の予測には、文献[1]に記載されているカルマンフィルターを利用した。また、複数台のカメラが対象を検出した場合には、対象までの距離が最も近いカメラが対象追跡するようにカメラを選択する。

2.3 観測領域撮影

観測領域撮影を行うカメラは、以下の処理を繰り返すことにより、観測領域内に動的に発生する死角領域を減少させる(図2)。

1. 各カメラ間でパン/チルト/画角によって各カメラの撮影領域情報を相互に通信する。(撮影領域情報相互通信)。
2. ステップ1で取得した各カメラの撮影領域の位置関係から、オーバーラップすべき協調相手を

選択する(協調相手選択)。

3. ステップ2で選択した協調相手の撮影領域と自身の撮影領域とのオーバーラップを評価する評価関数により、自身の撮影領域を調整する(撮影領域調整)。

なお、ステップ2およびステップ3の処理では、処理を簡単にするために、カメラの撮影領域は、実際のカメラの撮影領域に内包される各辺が観測領域境界と平行な矩形領域とした(図3)。また、各カメラに対しては予めキャリブレーションを行い、その設置位置/向きは既知であり、設置位置/向きとカメラのパン/チルト/画角をもとに、現在のカメラの撮影領域位置を特定する。

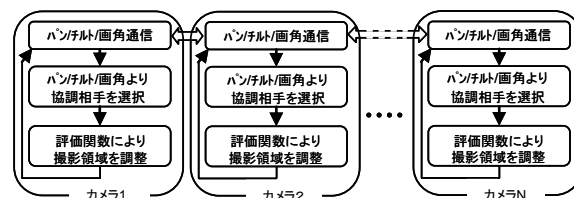


図2 処理フロー

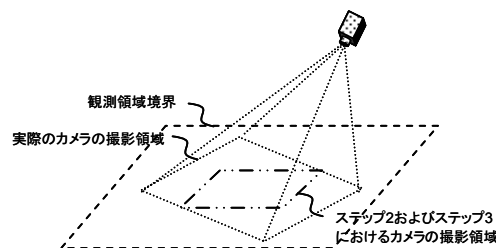


図3 カメラの撮影領域

2.3.1 撮影領域情報相互通信

撮影領域情報相互通信は、各カメラが自身のパン/チルト/画角をブロードキャスト通信することにより実現する。本稿の実機システムでは有線LANを用いて全カメラにブロードキャスト通信している。

しかしこの撮影領域情報相互通信では、各カメラのパン/チルト/画角を全カメラに送信する必要はない。観測領域撮影の制御では、各カメラは自身の撮影領域に隣接する領域を撮影するカメラを協調相手として選択し、同領域とのオーバーラップ幅により自身の撮影領域を調整する。このため、各カメラは自身の撮影領域と隣接する領域を撮影する可能性のあるカメラにのみ自身のパン/チルト/画角を送信すればよく、これらカメラまで通信

可能な出力をもつ無線通信を用いるのが最適である。

2.3.2 協調相手選択

各カメラは、カメラの設置位置/向き、および、ステップ 1 において取得したカメラのパン/チルト/画角をもとに、各カメラの撮影領域の位置を算出する。そして、これをもとに、自身の撮影領域に隣接する領域を撮影するカメラを協調相手として選択する。隣接する撮影領域がなければ、観測領域境界を協調相手として選択する(図 4)。

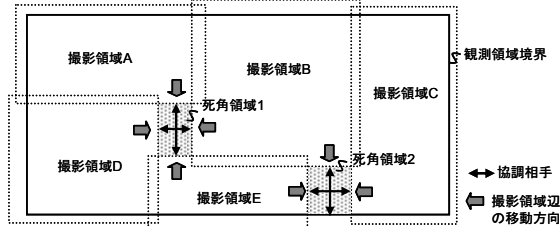


図 4 観測領域内における各カメラの撮影領域の関係

2.3.3 撮影領域調整

カメラ i のパン角を θ_i 、チルト角を ϕ_i 、画角を ω_i とすると、以下に定義する評価関数 $W_i(\theta_i, \phi_i, \omega_i)$ をパン角 θ_i 、チルト角 ϕ_i 、画角 ω_i に関して偏微分した発展方程式を用いて、カメラ i は自身のパン角 θ_i 、チルト角 ϕ_i 、画角 ω_i を調整することにより、撮影領域の位置を調整する。

$$W_i(\theta_i, \phi_i, \omega_i) = W_{0i}(\theta_i, \phi_i, \omega_i) + W_{1i}(\theta_i, \phi_i, \omega_i) + W_{2i}(\theta_i, \phi_i) \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \theta_i}{\partial t} &= -\frac{\partial W(\theta_i, \phi_i, \omega_i)}{\partial \theta_i} \\ \frac{\partial \phi_i}{\partial t} &= -\frac{\partial W(\theta_i, \phi_i, \omega_i)}{\partial \phi_i} \\ \frac{\partial \omega_i}{\partial t} &= -\frac{\partial W(\theta_i, \phi_i, \omega_i)}{\partial \omega_i} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式(1)において $W_{0i}(\theta_i, \phi_i, \omega_i)$ は、自カメラ i の撮影領域と協調相手選択において選択した他カメラ $j=1, \dots, n$ の撮影領域および観測領域境界 $k=1, \dots, m$ とのオーバーラップを評価する評価関数である。この $W_{0i}(\theta_i, \phi_i, \omega_i)$ は以下のように定義した。

$$W_{0i}(\theta_i, \phi_i, \omega_i) = \alpha \sum_j^n (O_j(\theta_i, \phi_i, \omega_i) - O_{target})^2 + \beta \sum_k^m (D_k(\theta_i, \phi_i, \omega_i) - D_{target})^2 \quad (3)$$

式(3)において、 α および β は係数、 $O_j(\theta_i, \phi_i, \omega_i)$ はカメラ i の撮影領域とカメラ j の撮影領域とのオーバーラップ幅を評価する関数、 $D_k(\theta_i, \phi_i, \omega_i)$ はカメラ i の撮影領域と観測領域境界 k とのオーバーラップ幅を評価する関数、 O_{target} はカメラの撮影領域同士のオーバーラップ幅の目標値、 D_{target} はカメラの撮影領域と観測領域境界とのオーバーラップ幅の目標値である。

また、式(1)において、 $W_{1i}(\theta_i, \phi_i, \omega_i)$ は、自カメラ i の撮影領域面積と各カメラの撮影領域面積との差を評価する評価関数である。この $W_{1i}(\theta_i, \phi_i, \omega_i)$ は以下のように定義した。

$$W_{1i}(\theta_i, \phi_i, \omega_i) = \gamma \sum_j^n (S_i(\theta_i, \phi_i, \omega_i) - S_j)^2 \quad (4)$$

式(4)において、 γ は係数、 $S_i(\theta_i, \phi_i, \omega_i)$ は自カメラ i の撮影領域面積を評価する関数、 S_j はカメラ j の撮影領域面積を評価する関数である。

また、式(1)において、 $W_{2i}(\theta_i, \phi_i)$ は、自カメラ i の視線と観測領域面とのオフセット角(図 5 の(b))を評価する評価関数である。この $W_{2i}(\theta_i, \phi_i)$ は以下のように定義した。

$$W_{2i}(\theta_i, \phi_i) = \varepsilon_{pan} (\theta_i - \eta_{pan})^2 + \varepsilon_{tilt} (\phi_i - \eta_{tilt})^2 \quad (5)$$

式(5)において、 ε_{pan} 、 ε_{tilt} は係数、 η_{pan} 、 η_{tilt} はカメラの視線と観測領域面とが正対する(オフセット角度最大)時のパン/チルト角である。

式(3)示すオーバーラップ幅を評価する $W_{0i}(\theta_i, \phi_i, \omega_i)$ にもとづくパン/チルト/画角の調整により、死角領域を減少させることは可能である。しかし、 $W_{0i}(\theta_i, \phi_i, \omega_i)$ のみでパン/チルト/画角を調整した場合、撮影領域面積の不均一による局所的な解像度の低下や(図 5 の(a))、カメラの視線と観測領域面とのオフセット角度低下による解像度の低下が発生する可能性がある(図 5 の(b))。

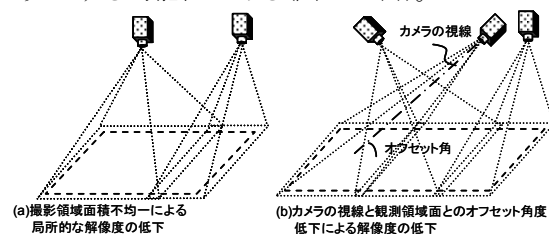


図 5 解像度低下の原因

このため、式(4)に示す各カメラとの撮影領域面積の差を評価する $W_{1i}(\theta_i, \phi_i, \omega_i)$ 、および、式(5)

に示すカメラの視線と観測領域面とのオフセット角を評価する $W_{2i}(\theta_i, \phi_i)$ を、式(1)に示す評価関数 $W_i(\theta_i, \phi_i, \omega_i)$ に加えている。

3. 実験

提案システムの有効性を検証するために、実機による動作実験を行った。また、実機による実験では、カメラのパン/チルト/画角速度の制御段階数や制御間隔などのカメラ性能上の制約、および、用意可能なカメラ台数や配置の自由度などの環境上の制約を受け、評価が制限されてしまう。このため、計算機上でのシミュレーション評価をあわせて行った。

3.1 実機動作実験

3.1.1 実験環境

実機実験では、12台のパン/チルト/ズームカメラ(Panasonic製 WV-CS850、図6)を利用し、同12台を1.4m×1.0m間隔に2.4m高の天井に設置、床面4.3m×4.0mの範囲を観測領域とした(図7)。

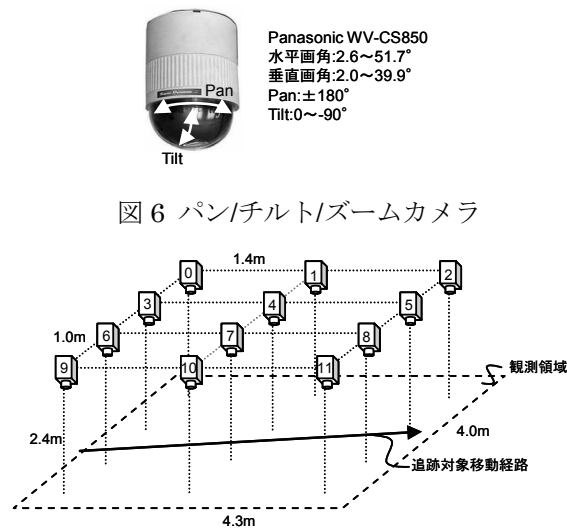


図7 実験環境および追跡対象の移動経路

各カメラはそれぞれ、ギガビットイーサネットにより結合されたPC(Pentium4 3.2GHz)により制御される。このように構成されたシステムにおいて、各カメラは、撮影領域情報相互通信、協調相手選択、および、撮影領域調整の一連の動作を、平均約1.5[回/秒]行う。

また、追跡対象には約15cm×15cm×15cmの立方体の移動物を用い、各PCにおいて追跡対象

の色と面積をキーとした画像処理によって追跡対象を検出する。

3.1.2 実験1: 移動対象追跡の注視追跡

提案システムが撮影領域を調整し、移動する追跡対象を注視追跡することにより動的に発生する死角領域を減少させることを確認する。図7に示す経路で追跡対象を移動させ、追跡対象に最も近い1台のカメラが注視追跡する。他の全カメラは観測領域撮影を行う。

図8に、実験で各時刻に撮影された全カメラ画像を1つに合成した画像を、(a)から(f)に時間経過順に示す。各カメラの撮影領域とカメラ番号を実線と数字で示し、対象を追跡しているカメラの撮影領域を太線で示す。追跡対象が存在しない(a)では、観測領域全体を死角なく撮影できている。(a)の状態から追跡対象が図7に示す経路で移動した(b)から(f)では、6, 7, 5番のカメラが追跡対象を順次に注視追跡することにより、(c)で死角領域が発生しているが、主に1, 4, 10番のカメラが撮影領域を協調して調整し、注視により発生した死角領域を減少させた結果、(d)では観測領域全体を死角なく撮影できている。

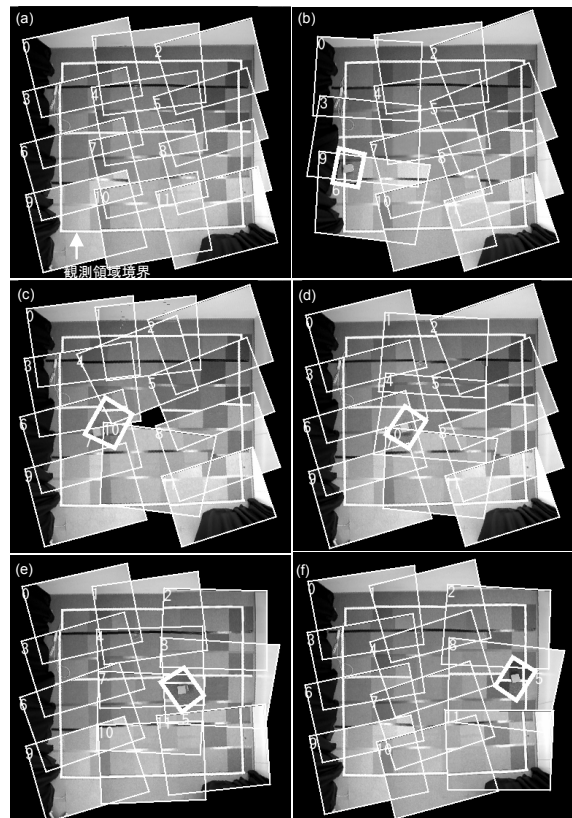


図8 移動追跡対象注視時の提案システムの動作

3.1.3 実験 2: カメラの停止/減少

提案システムが撮影領域を調整し、カメラが停止/減少した場合に動的に発生する死角領域を減少させることを確認する。全カメラが観測領域撮影を行っている状態から、2番および7番のカメラを順次停止/減少させる。

図9に、実験で各時刻に撮影された全カメラ画像を1つに合成した画像を、(a)から(e)に時間経過順に示す。各カメラの撮影領域とカメラ番号を実線と数字で示す。(a)では観測領域全体を死角なく撮影できている。(a)の状態から2番のカメラを停止させた(b)では、2番のカメラが停止したことにより右上隅に死角領域が発生しているが、主に5, 8, 11番のカメラが撮影領域を調整することにより死角領域を減少させた結果、(c)では観測領域全体を死角なく撮影できている。(c)の状態から更に7番のカメラを停止させた(d)では、7番のカメラが停止したことにより中ほどに死角領域が発生しているが、主に1, 4, 11番のカメラが撮影領域を調整することにより死角領域を減少させた結果、(e)では観測領域全体を死角なく撮影できている。

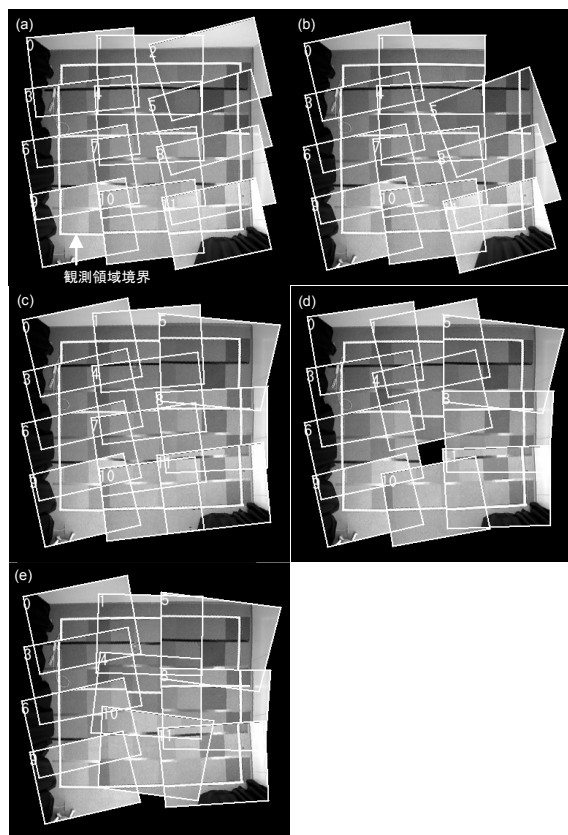


図9 カメラ停止/減少時の提案システムの動作

3.1.4 実験 3: カメラの復旧/増加

提案システムが撮影領域を調整し、カメラが復旧/増加した場合に、各カメラが撮影領域の解像度を向上させて、観測領域を撮影していることを確認する。0から8番のカメラが観測領域撮影を行っている状態から、9から11番のカメラを復旧/追加する。

図10に、実験で各時刻に撮影された全カメラ画像を1つに合成した画像を、(a)から(b)に時間経過順に示す。各カメラの撮影領域とカメラ番号を実線と数字で示す。(a)では0から8番のカメラにより観測領域全体を死角なく撮影できている。(a)の状態から9から11番のカメラを復旧させた(b)では、(a)に比べ各カメラの解像度が向上し、全カメラによって観測領域全体を死角なく撮影できている。

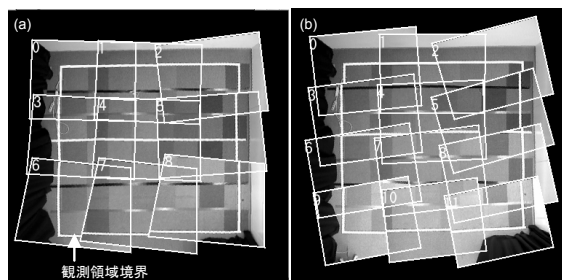


図10 カメラの復旧/増加時の提案システムの動作

3.2 シミュレーション評価

3.2.1 シミュレーション評価環境

シミュレーション評価においても、パン/チルト/ズームカメラの性能は実機による動作実験に用いたカメラの性能と同じとした。但し、カメラのパン/チルト/画角速度は無段階変速、カメラの制御間隔は100msecとした。また、各カメラは2.5m高の天井に設置、床面3.6m×3.6mの範囲を観測領域とした。

3.2.2 評価 1: カメラの配置

様々のカメラ配置において、提案システムが撮影領域を調整し、死角領域を減少させることを確認する。カメラを2.5m高の天井に一様ランダムに配置した時の提案システムの撮影領域調整評価を、カメラ台数を6台から18台まで、各台数毎

に 200 回を試行する。

撮影領域調整後の各カメラの撮影領域のサンプルを図 11 に示す。また、各カメラ台数に対するカバー率 (=観測領域内でいずれかのカメラが撮影している領域の面積/観測領域面積)、および、冗長率 (=観測領域内で複数のカメラが撮影している領域の面積/観測領域面積)の平均値および分散値を図 12 に示す。提案システムは、一様ランダムに配置した場合においても、平均約 95%以上のカバー率で、全観測領域を撮影するように各カメラの撮影領域を調整している。

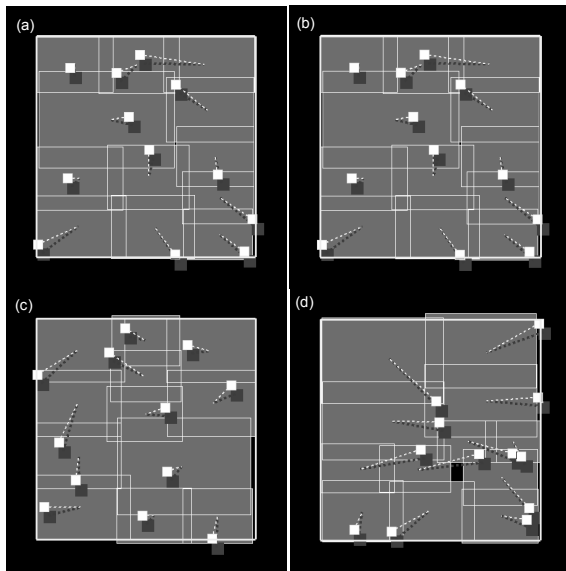


図 11 各カメラ配置に対する提案システムの各カメラの撮影領域(白塗り四角:カメラ、破線:カメラ視線、白枠線:カメラの撮影領域、白太枠線:観測領域)

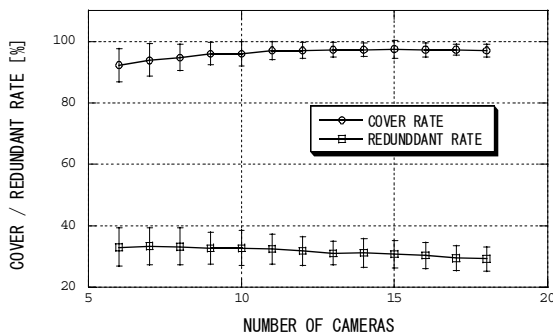


図 12 各カメラ台数におけるカバー率および冗長率

3.2.3 評価 2: カメラの停止/減少

提案システムが撮影領域を調整し、カメラが停止/減少した場合に動的に発生する死角領域を減

少させる各時刻の動きを確認する。まず 12 台のカメラを配置し、その後カメラを 1 台ずつ停止/減少させる (図 13)。

提案システムのカバー率と冗長率の時間的変化を図 14 に示す。図 14 に示すように、提案システムは、1 台のカメラが停止/減少する度に、一時カバー率が減少するが、死角を減少させるように撮影領域を調整するために、僅かな時間のうちにカバー率は復帰している。また、提案システムは、複数のカメラによって撮影される冗長な領域を増加させることなく、観測領域内の死角領域を減少させるように、各カメラの撮影領域を調整する動作を行っている。

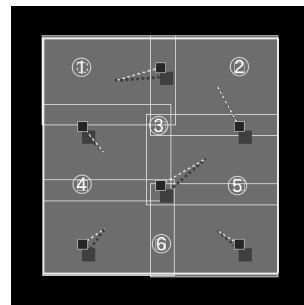


図 13 停止/減少させるカメラ(番号:停止/減少されるカメラの順番)

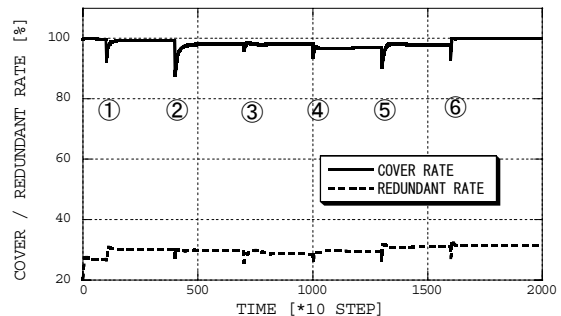


図 14 カメラ停止/減少時におけるカバー率および冗長率の変化

4. まとめ

本稿では、対象を注視し追跡すると共に、観測領域内に動的に発生する死角領域が減少するように、複数のアクティブカメラが撮影領域を調整する協調監視システムを提案した。提案システムは、各カメラはパン/チルト/画角などの撮影領域情報を相互に通信することにより、自身の撮影領域に隣接する領域を撮影するカメラを特定し、互いの撮影領域をオーバーラップさせる協調動作を行うことにより、動的に発生する死角領域を減少させ

ることができ、対象追跡時およびアクティブカメラ数の増減時において動的に発生する死角領域が減少することを実機実験およびシミュレーション評価において確認した。

しかしながら、提案システムに対し以下の改善を行う必要があると考える。

ローカルミニマム脱却：カメラの配置を変更したシミュレーション評価結果(3.2.2 章)によると、提案システムは、全観測領域の平均約 95%以上を撮影するように各カメラの撮影領域を調整する。しかし、100%とはならず、また、いくつかのサンプルにおいては、それよりも低いサンプルがあった。これらのサンプルは、提案システムの撮影領域調整に用いた評価関数 $W_i(\theta_i, \phi_i, \omega_i)$ がローカルミニマム落ち込んだ為、全観測領域を撮影することができていないと推測される。例えば図 11(d)に示すサンプルでは、中央部の死角周辺のカメラは最大画角までズーム調整されていないにも関わらず、撮影領域の調整が停止してしまっている。

文献

- [1] Robert T. Collins, Alan J. Lipton, Hironobu Fujiyoshi and Takeo Kanade, “Algorithms for cooperative multisensor surveillance”, Proceedings of the IEEE, Vol. 89, No. 10, pp. 1456-1477 (October, 2001).
- [2] 伊藤 渡, 上田 博唯, “広域監視用親カメラと追尾監視用子カメラによる協調監視システム”, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU'00), Vol. II, pp. 235-240 (2000).
- [3] Takashi Matsuyama and Norimichi Ukita, “Real-Time Multi-Target Tracking by a Cooperative Distributed Vision System”, Proceedings of the IEEE, Vol.90, No. 7, pp.1136-1150 (2002).
- [4] JOSEPH O'ROURKE, “Art Gallery Theorems and Algorithms”, OXFORD UNIVERSITY PRESS, 1987
- [5] H'ector Gonz'alez-Banos, Jean-Claude Latombe, “Randomized Art-Gallery Algorithm for Sensor Placement”, *SCG'01*, June 3-5, Medford, Massachusetts, USA, pp. 232 – 240 (2001)

撮影効率の向上：図 8 から図 14 に示す提案システムの動作結果によると、各カメラの撮影領域が重複している領域が存在する。冗長率を低下させ撮影効率を向上させることが今後必要である。この原因は、今回は処理を簡単にするために、撮影領域を、実際のカメラの撮影領域に内包する各辺が観測領域境界と平行な矩形領域とした点にあると考えられる (図 3)。

全観測領域の撮影を保障するカメラ台数およびその設置位置：提案システムでは、現在対象追尾中のカメラを除く全カメラによって死角領域を減少させる。しかし、これらカメラの台数だけで死角領域を無くし、必ず観測領域全体を撮影できるかは、現在のところ保障できていない。文献 4)5) などの解法をもとに、提案システム設計時に事前に観測領域全体の撮影を保障できるカメラ台数を割り出しておくとともに、同カメラ台数分だけは対象追尾に割り振ることなく観測領域撮影に確保する制御を提案システムに加える必要がある。