

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

青木 勝司† 吉田 篤† 荒木 昭一†
Katsuji Aoki Atsushi Yoshida Shoichi Araki

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、実機システムを構築し、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。

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、広大な観測領域を監視する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跡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)を用い、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、対象を注視追跡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跡した場合、注視追跡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が、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。

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。

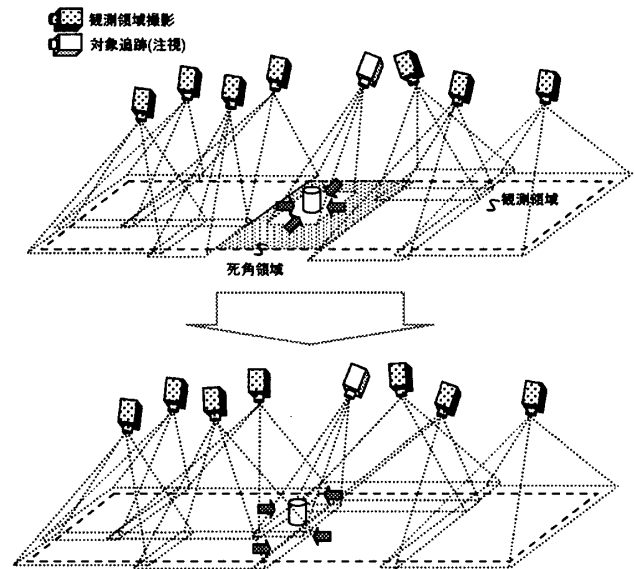


図1 提案システムの動作例

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)。複数台のカメラが対象を検出した場合は、対象までの距離が近いカメラが対象を追跡するようにカメラ台数を調整する。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)。

以下2.2節では、観測領域撮影について述べる。

2.2 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/画角を相互に通信する。
2. ステップ1で取得した各カメラのパン/チルト/画角から、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)。

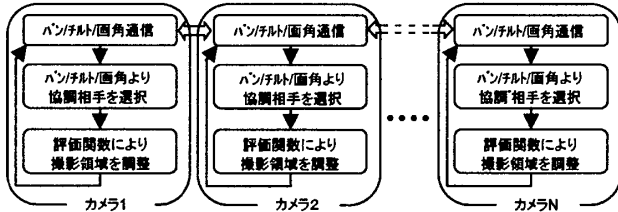


図2 処理フロー

ステップ1の処理は、カメラ間でパン/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している。ステップ2およびステップ3のそれぞれの処理は、2.2.1 および 2.2.2 において説明する。なお、処理を簡単にするために、これらのステップの処理では、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)。

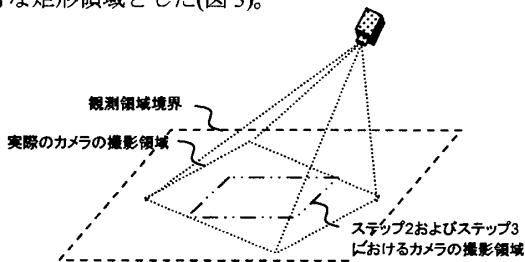


図3 カメラの撮影領域

2.2.1 協調相手選択

各カメラは、キャリブレーションによりあらかじめ求めておいたカメラの設置位置/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)。

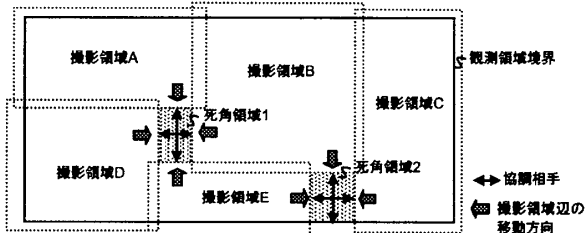


図4 観測領域内における各カメラの撮影領域の関係

2.2.2.撮影領域調整

カメラ*i*は、自身のパン角 θ_i 、チルト角 ϕ_i 、画角 ω_i を、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により調整することにより、自身の撮影領域を調整する。

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

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

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*($j=1, \dots, n$)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り、 $W_{0i}(\theta_i, \phi_i, \omega_i)$ 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り、 $W_{1i}(\theta_i, \phi_i, \omega_i)$ 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り、 $W_{2i}(\theta_i, \phi_i)$ 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ため(図5の(b))、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 $W_{2i}(\theta_b, \phi_i)$ を、式(1)に示す評価関数 $W_i(\theta_b, \phi_b, \omega_i)$ に加えている。

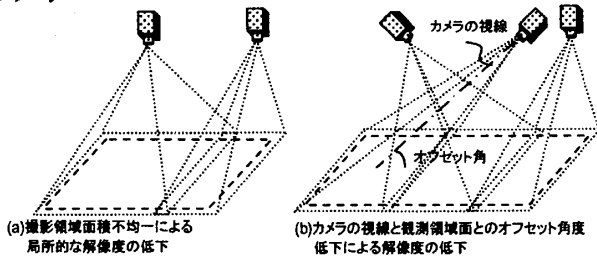
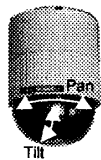


図5 解像度低下の原因

3. 実験

提案システムの有効性を検証するために、実機による実験を行った。実験では、12台のパン/チルト/ズームカメラ(Panasonic 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)。



Panasonic WV-CS850
 水平面角:2.6~51.7°
 垂直面角:2.0~39.9°
 Pan:±180°
 Tilt:0~90°

図6 パン/チルト/ズームカメラ

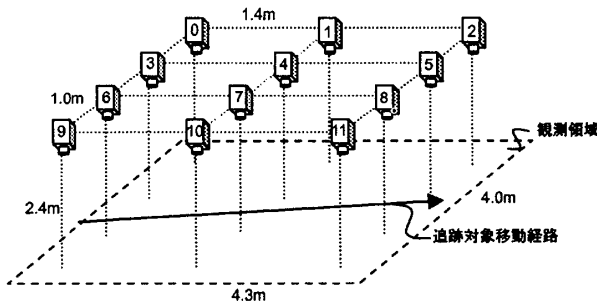


図7 実験環境および追跡対象の移動経路

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、パン/チルト/画角の通信、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。

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 実験1: 移動追跡対象の注視追跡

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。

3.2 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。

3.3 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。

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において確認した。

今後、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。

撮影効率の向上：図8から図10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。撮影効率（観測領域面積÷全カメラの撮影領域面積）の向上が今後必要である。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]などをもとに、観測領域全体の撮影を保障できるカメラ台数およびその設置位置を検討する必要がある。

謝辞 本研究において、奈良先端技術大学院大学 情報処理研究科 浮田宗伯助手に、カメラ制御、協調追跡手法など数々の助言を頂いたことに感謝します。

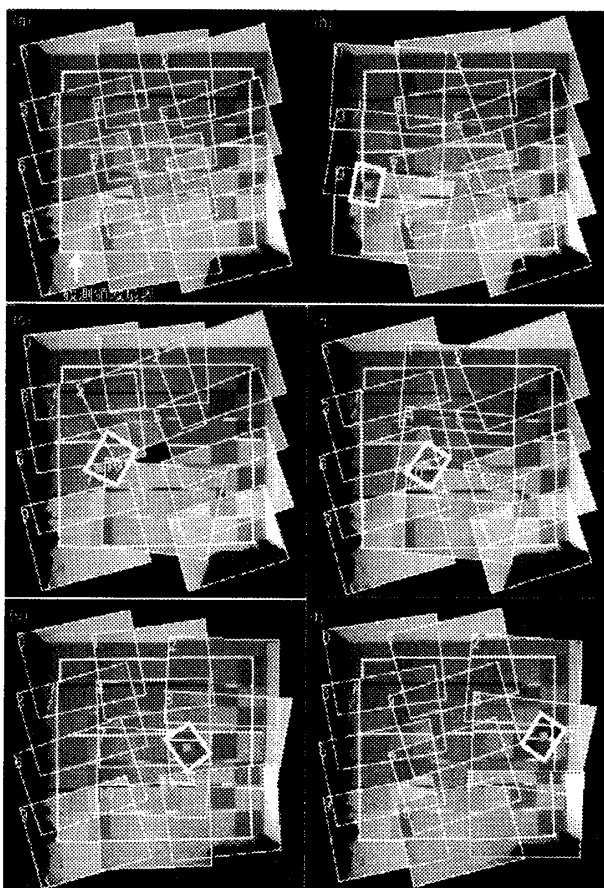


図8 移動追跡対象の注視追跡時の提案システムの動作

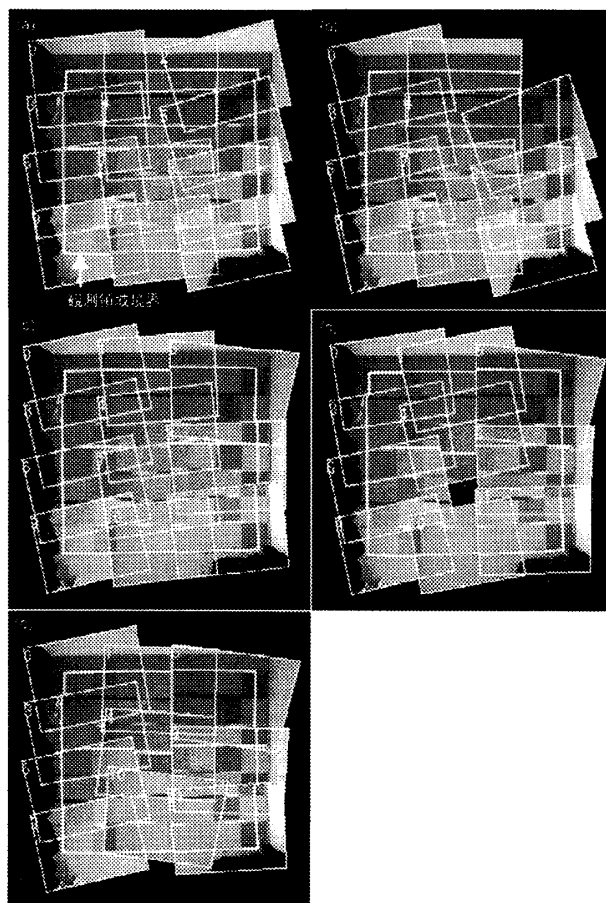


図9 カメラの停止/減少時の提案システムの動作

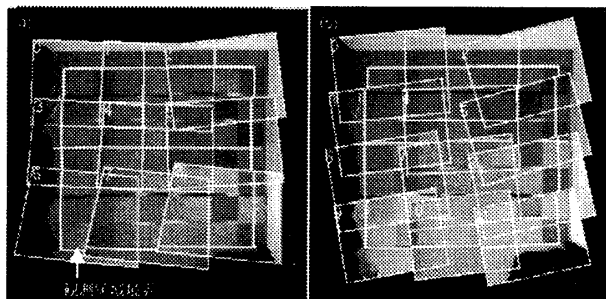


図10 カメラの復帰/増加時の提案システムの動作

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, October, 2001, pp. 1456-1477.
- [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