


Tokyo Institute of Technology

勾配法に基づく視覚センサネットワークの動的環境モニタリング制御



制御システム工学科
藤田研究室
10-20766 船田 陸

Tokyo Institute of Technology Fujita Laboratory


Tokyo Institute of Technology

研究背景

視覚センサネットワークシステム
複数の視覚センサが相互に接続し、対象を効率よく計測するシステム

PTカメラを用いたモニタリング
将来的には
ネットワークを用いた協調動作 + 自動化

従来研究 [1]
静的環境のモニタリングに適した手法
課題: 動的環境のモニタリング



PTカメラ
(パン・チルトカメラ)

本研究の目的
ネットワークカメラを用いた動的環境に対して運用できる効率的な自動監視システムの提案と検証

[1] T. Hatanaka, Y. Wasa and M. Fujita, "Game Theoretic Cooperative Control of PTZ Visual Sensor Networks for Environmental Change Monitoring," Proc. 52nd IEEE CDC, 2013 (to be presented)

2

Tokyo Institute of Technology

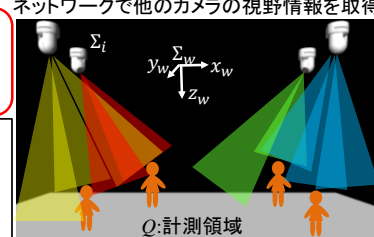
問題設定

ネットワークで他のカメラの視野情報を取得

効率的とは

- 重要領域の捕捉 +
- 視野を適度に分散

n から見た m の相対姿勢 $R_{nm} \in SO(3)$: 回転行列
 Σ_k : k の座標系
カメラは回転運動のみ可能
カメラの設置位置は既知



Q: 計測領域

各カメラのブロック線図

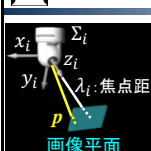
```

    graph LR
      A[カメラ姿勢更新] --> B[画像取得]
      B --> C[重要度推定]
      C --> D[目的関数 H_i(R_wi) 作成]
      D --> E[H_i(R_wi) 最小化]
      E --> A
  
```

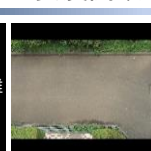
3

Tokyo Institute of Technology

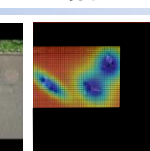
重要度関数: 1台の場合



x_i, y_i, z_i
 λ_i : 焦点距離
P: 画像平面



計測領域



重要度関数
重要度: 低 (赤) ~ 高 (青)

取得画像中で重要な所ほど小さな値を与えたい

重要度関数: $\phi(R_{wi}) = \psi(p)$

R_{wi} : カメラ姿勢 (回転行列)

$$\psi(p) = \bar{\psi} - \sum_{j=1}^k \alpha_j \exp\left(-\frac{1}{2}(p - \mu_j)^T \Sigma_j (p - \mu_j)\right) \quad \psi(p) > 0$$

μ_j : 平均 $\Sigma_j = \begin{bmatrix} \Sigma_j^{im} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ $\Sigma_j^{im} = \frac{1}{2} S_j^{im-1}$ S_j^{im} : 分散共分散行列

4

Tokyo Institute of Technology

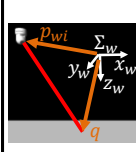
目的関数: 複数台の場合

計測性能関数

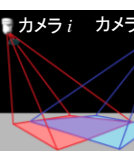
$$f_i(R_{wi}) = \frac{1}{\lambda_i} (q - p_{wi})^T W (q - p_{wi})$$

$q = q_{wi}(R_{wi})$
 $W = \text{diag}([w \ w \ 1])$

近いほど高解像度の画像を取得 小さいほど重要



カメラ i



カメラ j

カメラ i の重要度関数

解像度	値
$i \geq j$	$\phi(R_{wi})$
$i < j$	$\bar{\phi}$: ペナルティ

$\bar{\phi} \geq \phi(R_{wi})$

カメラ i の目的関数(最小化)

$$H_i(R_{wi}) = \sum_{l \in L_i} (f_i(R_{wi})) (\phi_l(R_{wi})) + \bar{\phi} \sum_{l \in L_i} f_i(R_{wi})$$

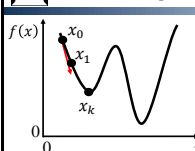
ネットワーク中で最も高解像度な画像領域 + その他の画像領域

5

Tokyo Institute of Technology

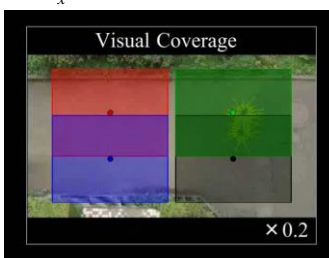
勾配法・シミュレーション結果

$f(x)$



$x_{k+1} = x_k - \alpha \text{grad} f(x_k)$

利点: 局所的な最適解に素早く収束
欠点: 必ずしも大域的な最適解には収束しない



Visual Coverage
× 0.2

6

まとめ

- まとめ
 - 目的関数の提案
 - シミュレーションの作成
- 今後の課題
 - 実験環境の構築及び制御則の有効性の確認
 - 動体検出以外の運用法での本制御則の検証

付録

大域的な収束と局所的な収束

達成 重要領域の捕捉 + 視野を適度に分散

各カメラが一番近い重要領域を見ているかどうか

計測性能関数

$$f_i(R_{wi}) = \frac{1}{\lambda_i} (q - p_{wi})^T W (q - p_{wi}) \quad W = \text{diag}([w \ w \ 1])$$

近いほど高解像度の画像を取得 小さいほど重要

カメラと計測領域が離れている場合 ($\gamma \gg L$)

➡ 鉛直方向の距離が支配的で水平方向の距離は反映されにくい

$W = \text{diag}([w \ w \ 1])$ により、水平方向の距離に重みをつける

重要度関数: 計測領域

重要度関数: $\phi(R_{wi}) = \psi(p)$

R_{wi} : カメラ姿勢 (回転行列)

$$\psi(p) = \begin{cases} \bar{\psi} - \sum_{j=1}^k \alpha_j \exp(-(p - \mu_j)^T \Sigma_j (p - \mu_j)) & \text{計測領域内の画像} \\ \bar{\phi} & \text{計測領域外の画像} \end{cases}$$

$\psi(p) > 0$ $\bar{\phi} > \bar{\psi}$ $\bar{\phi}$: ペナルティ 重要な箇所ほど小さな値

μ_j : 平均 $\Sigma_j = \begin{bmatrix} \Sigma_j^{im} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ $\Sigma_j^{im} = \frac{1}{2} \Sigma_j^{im-1}$ S_j^{im} : 分散共分散行列

勾配法

利点 局所的な最適解に素早く収束

欠点 必ずしも大域的な最適解には収束しない

環境の動的な変化に対応するには

局所的な最適解でも、速く収束したほうが良い

$$x_{k+1} = x_k - \alpha \text{grad} f(x_k)$$

$$R_{wi}[k+1] = R_{wi}[k] \exp \left(R_{wi}^T[k] \left(\alpha_k \text{grad}_{R_{wi}[k]}^{SO(3)} H_i \right) \right)$$