

照度を考慮した Mean-Shift によるカラートラッキング

林 裕司[†] 藤吉 弘亘[†] 岩堀 祐之[†]

[†] 中部大学 大学院 工学研究科 〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200

E-mail: [†]yuji@vision.cs.chubu.ac.jp, ^{††}{hf,iwahori}@cs.chubu.ac.jp

あらまし 移動体追跡手法の中の一つである Mean-Shift アルゴリズムは、初期フレームにおける追跡対象の色ヒストグラムを用いるため、照度に変化する環境では追跡が困難となるという問題がある。本稿では、追跡空間を画像空間だけでなく照度を加えた空間を対象とした Mean-Shift 法を提案する。提案手法は、照度空間と画像空間の Mean-Shift 探索を交互に繰り返すことにより照度の変化量と移動体の移動量を求める。評価実験により、1300[lx] から 58[lx] までの照度変化の下でも移動体の追跡が可能であることを示す。

キーワード Mean-Shift, カラートラッキング, 照明変動

Mean-Shift Based Color Tracking Through Illuminance Space

Yuji HAYASHI[†], Hironobu FUJIYOSHI[†], and Yuji IWAHORI[†]

[†] Dept. of Computer Science, Chubu University Matsumoto 1200, Kasugai, Aichi, 487-8501 Japan

E-mail: [†]yuji@vision.cs.chubu.ac.jp, ^{††}{hf,iwahori}@cs.chubu.ac.jp

Abstract The mean-shift algorithm is an efficient technique for tracking 2D blobs through an image. Although it is important to adapt the mean-shift kernel to handle changes in illumination, there is presently no clean mechanism for doing this. This paper presents a novel approach for color tracking that is robust to illumination changes. We use two interleaved mean-shift procedures to track the spatial location and illumination intensity of a blob in an image. We demonstrate that our method enables efficient real-time tracking of a color blob against changes in illumination, where the illuminance ranges from 58 to 1,300 lx.

Key words Mean-Shift, Color tracking, Illumination change

1. はじめに

移動体追跡は、カメラ画像から指定した対象が画像上でどのように移動したか推定する問題である。移動体追跡の応用には、リアルタイム処理が求められる場合が多く、高速に追跡処理を行う必要がある。近年、追跡の安定化や計算コスト削減のため、フレーム間の類似度の勾配から対象の位置を推定する Mean-Shift 法が提案されている [1], [2]。Mean-Shift 法では色ヒストグラムを用いて、勾配法に類似した重みを定義し、相関を最大にする位置ずれ量を山登り法によって求め追跡を行う。そのため、追跡対象の極端に大きな形状、大きな照明変動が起る環境、探索領域を超える移動がない限り追跡可能である。現在、この追跡手法は発展し、Mean-Shift 追跡における重みに負の値が使えるように拡張し、移動体とカメラの距離が変化し、追跡対象のスケールが変化する環境で追跡を可能とする手法 [3] や、単色物体を安定に追跡するよう改良した手法 [4] 等、様々な手法が提案されている [5]。

Mean-Shift 追跡法は、計算コストが低く高速に処理できるア

ルゴリズムであるが、照明変動により追跡対象の色ヒストグラムが急激に変動した場合、追跡を失敗する可能性がある。単色物体を安定に追跡するよう改良した手法 [4] では、ヒストグラムのピークをシフトさせることにより、小さな照明変動に対応している、しかし、ヒストグラムが多峰性である場合、移動体追跡が不安定になる可能性がある。これは、照明変動により移動体の画像上の輝度値が変わるためである。カメラから出力される RGB 値が変化した場合、物体の移動によるものか、照明変動によるものかを RGB 値のみで区別することは困難である。

本研究では、追跡対象色に対してその色の照度変化に対する変化を表す RGB-照度モデルを作成し、各フレームにおいて照度と対象物の移動量を Mean-Shift 探索する追跡手法を提案する。提案手法は、照度空間と画像空間の Mean-Shift 探索を交互に繰り返すことにより照度の変化量と移動体の移動量を求めるため、照明変動下の環境での移動体追跡を可能とする。

2. RGB-照度モデル

図 1 は、黒、白、青、緑、紫、ピンク、黄色のカラーパッチ

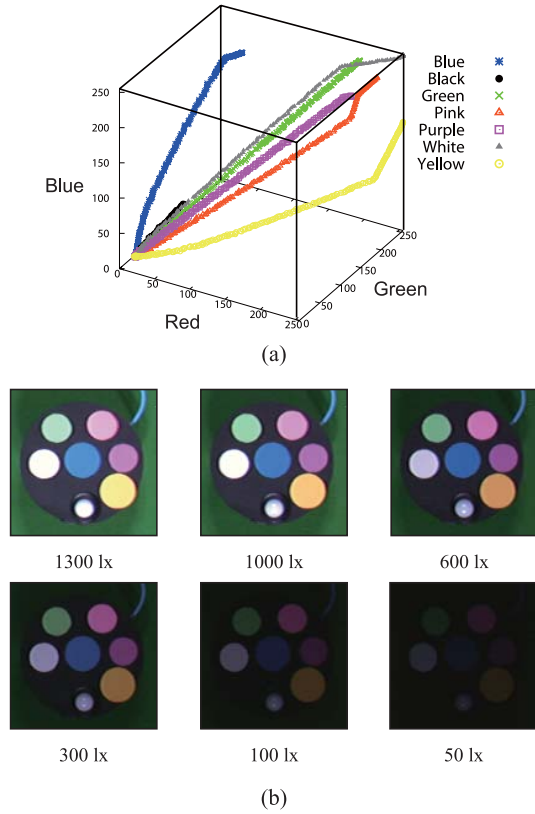


図 1 RGB 空間における 0[lx] から 1400[lx] 時の色分布 (青, 黒, 緑, ピンク, 紫, 白, 黄)

上の照度を 0 から 1400[lx] まで変化させた場合の追跡対象の画像と RGB 空間における色分布である。照明条件が変化する環境では、照度の変化により物体表面の RGB 値が変化する。これは、照明から照射された光の一部が物体に吸収され、残りの反射された光が物体の色であり、この反射された光をカメラの受光センサーが受け取り RGB 値として出力されているためである。そのため、照明が変化する環境での RGB 空間では、各色クラス間の距離が変化し、しきい値処理による色識別は困難となる。

そこで、本研究では、各色クラスを分離しやすくするために、物体に照射されている光の強さをあらわす照度を加えた RGB-照度空間を用いる。図 2(a) は RGB 空間に照度を加えた RB-照度空間であり、各色に照射される照度を徐々に下げた場合の RB-照度空間での分布を示している。図 2(b) は照度が 1,000 から 1,200[lx]、図 2(c) は 200 から 400[lx] に固定した場合の RB 平面における各色クラスの分布である。各照度においては、各色の分布が分離していることがわかる。従って、現在の照度を推定することができれば、比較的色彩識別が容易になることが期待できる。しかし、アイリス等の各カメラパラメータ毎にターゲット色の RGB-照度分布を予め求めることは手間がかかり大変であるため、モデル化を行う。

2.1 RGB-照度モデルの作成

照度とカメラから出力される RGB の関係はカメラの分光感度に依存するため線形でない。図 3 に示す照度測定システムにより、照度が 0 から 1,400[lx] まで変化させた際の青色と黄色

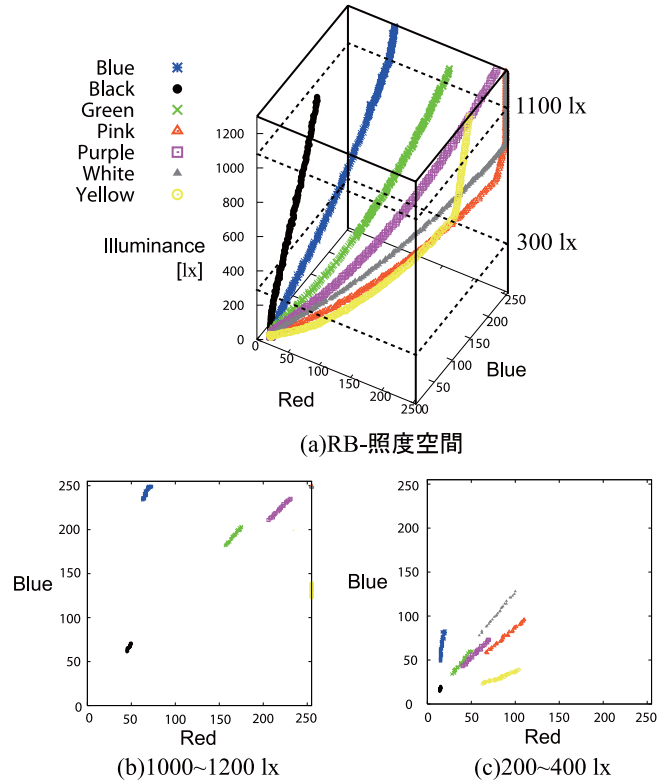


図 2 RB-照度空間での色分布

パッチに対する RGB 値を図 4 に示す。図 4 から RGB と照度

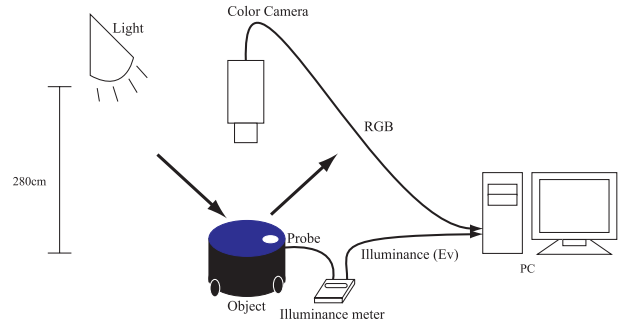


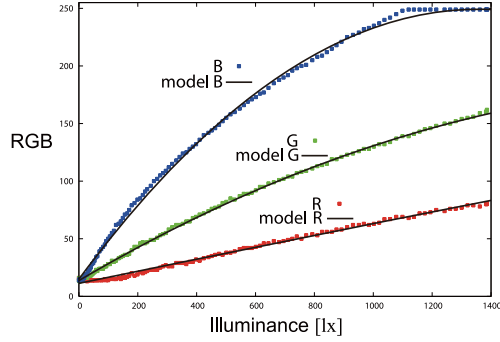
図 3 測定環境

の関係は線形ではないが曲線で近似できると考える。そこで本稿では、あるアイリスに対する RGB と照度の分布を二次関数で最小二乗フィッティングし、各ターゲット色 c 毎に RGB-照度モデルを次式により作成する。

$$\begin{aligned}\hat{I}_r^c(Ev) &= a_r^c Ev^2 + b_r^c Ev + c_r^c \\ \hat{I}_g^c(Ev) &= a_g^c Ev^2 + b_g^c Ev + c_g^c \\ \hat{I}_b^c(Ev) &= a_b^c Ev^2 + b_b^c Ev + c_b^c\end{aligned}\quad (1)$$

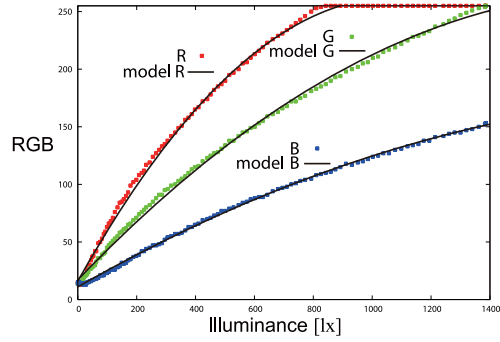
2.2 RGB-照度モデルの補正

カメラには、入射する光の量を調節するアイリスが存在する。そのため、アイリスが変化すると照明変動がなくても出力される RGB 値には変化が生じる。作成した RGB-照度モデルは、アイリスが一定である場合の照度変化を示すため、アイリスが変化した場合 RGB-照度モデルの補正が必要である。アイリスは F 値で示され、F 値はレンズ焦点 f を入射瞳径 D で割った



$$\begin{aligned} R &= -0.000001 \times Ev^2 + 0.052866 \times Ev + 11.255073 \\ G &= -0.000033 \times Ev^2 + 0.149986 \times Ev + 13.693125 \\ B &= -0.000127 \times Ev^2 + 0.344992 \times Ev + 14.922463 \end{aligned}$$

(a)青



$$\begin{aligned} R &= -0.000212 \times Ev^2 + 0.457082 \times Ev + 15.987350 \\ G &= -0.000071 \times Ev^2 + 0.266388 \times Ev + 17.108328 \\ B &= -0.000032 \times Ev^2 + 0.145618 \times Ev + 11.013877 \end{aligned}$$

(b)黄

図 4 青と黄の RGB-照度モデル (F=4)

値 (式 2) で求められる。

$$F = \frac{f[mm]}{D[mm]} \quad (2)$$

図 5 に示すように、CCD 撮像面の明るさ I とレンズ焦点距離 f には、 $I \propto \frac{1}{f^2}$ の関係がある。また、入射瞳径 D と、 $I \propto D^2$ の関係があることから以下の関係が成り立つ。

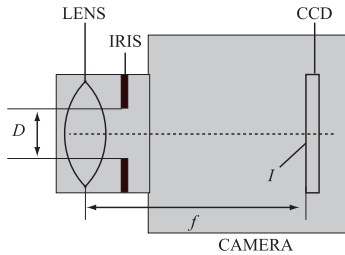
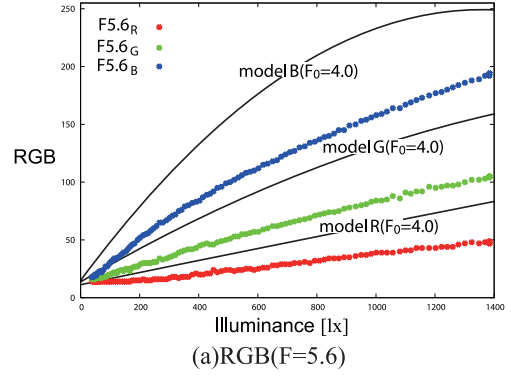


図 5 カメラの内部構造 (アイリスの仕組み)

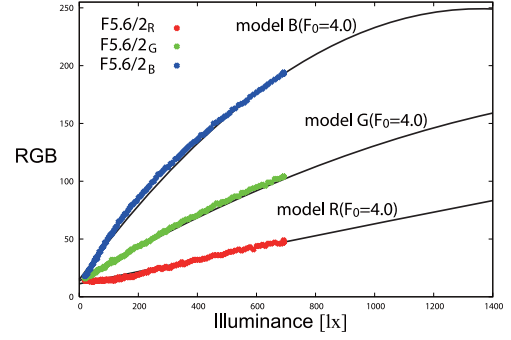
$$I \propto \left(\frac{D}{f}\right)^2 = \left(\frac{1}{F}\right)^2 \quad (3)$$

式 (3) から F 値を $\sqrt{2}$ 倍変化させると明るさは $\frac{1}{2}$ 倍になる。

以上より、図 6(a) に示す $F=5.6$ の場合、 $F=4$ の半分の明るさしか CCD 面に届いていないことになる。カメラの入力と出力は必ずしも線形ではないが、CCD 面に入射する光が一定であれば常に同じ RGB 値を出すという特徴がある。つまり、



(a)RGB(F=5.6)



(b) 補正後の RGB

図 6 RGB-照度モデルの補正

$F=5.6$ の $1400[lx]$ の時の RGB は $F=4$ の $700[lx]$ と同じ RGB 値を示す。このことから、 $F=5.6$ で作成したモデルを $F=4$ で使用するためには、RGB 値そのままにし、照度を $\frac{1}{2}$ 倍すれば求められる。図 6(b) に $F=5.6$ のモデルをアイリスの比より $F=4$ に補正した例を示す。照度を $\frac{1}{2}$ 倍することで、 F 値の変化を吸収していることがわかる。これにより、アイリスが変化しても各ターゲット色のある照度に対する大まかな RGB 値を得ることができるため、アイリスに合わせモデルを補正することができる。また、その他の RGB 値に変化を与える要因として、照明色 (色温度) の変化が挙げられるが、本稿では、照明色は照明自体が変わらない限り変化しないため考慮しないものとする。

3. 照度を考慮した Mean-Shift

2. 章で述べたターゲット色毎に作成した RGB-照度モデルを用いて、画像空間と照度空間に対して Mean-Shift 探索する追跡手法を提案する。以下に、単一色の物体追跡における手順を示す。

3.1 単色物体の追跡

照度を考慮した Mean-Shift では、画像空間の移動 $\Delta \mathbf{x} = (\Delta x, \Delta y)$ と照明空間の移動 ΔEv の 2 種類の移動量を求める問題となる。本手法では、各空間の移動量を交互に求め現フレームでの最も最適な位置と照度に移動するよう計算を繰り返す。

Step0 前処理 前処理として、RGB-照度モデルをカメラセッティングの際に得られる現在のアイリス値を用いて補正する。初期フレームの移動体の画像空間での位置 $\mathbf{x} = (x, y)$ を初期値として入力し、モデルと $\mathbf{x}$ での類似度の最大を与える照度を Ev とする。

Step1 画像空間における Mean-Shift 照度 Ev での RGB

値 $(\hat{I}_r(Ev), \hat{I}_g(Ev), \hat{I}_b(Ev))$ を式 (2) より求める。追跡中心 $\mathbf{x}$ の周辺ピクセル $\mathbf{x}_i (i = 0, \dots, N)$ の色 $(I_r(\mathbf{x}_i), I_g(\mathbf{x}_i), I_b(\mathbf{x}_i))$ と RGB-照度モデルから得られる RGB 値との類似度を求め重み $w_{loc}(\mathbf{x}_i)$ とする。

$$w_{loc}(\mathbf{x}_i) = \frac{\hat{I}_r(Ev)I_r(\mathbf{x}_i) + \hat{I}_g(Ev)I_g(\mathbf{x}_i) + \hat{I}_b(Ev)I_b(\mathbf{x}_i)}{\sqrt{(\hat{I}_r^2(Ev) + \hat{I}_g^2(Ev) + \hat{I}_b^2(Ev))(I_r^2(\mathbf{x}_i) + I_g^2(\mathbf{x}_i) + I_b^2(\mathbf{x}_i))}} \quad (4)$$

求めた重み $w_{loc}(\mathbf{x}_i)$ を用いて画像空間上の移動量 $\Delta\mathbf{x}$ を求める。前フレームの追跡領域周辺に注目した探索を行うため式 (6) に示す画像空間のカーネル関数 K_{loc} を用い、移動量 $\Delta\mathbf{x}$ を次式により求める。

$$\Delta\mathbf{x} = \frac{\sum_{i=0}^N K_{loc}(\mathbf{x}_i - \mathbf{x}, \sigma_{xy}) w_{loc}(\mathbf{x}_i) (\mathbf{x}_i - \mathbf{x})}{\sum_{i=0}^N |K_{loc}(\mathbf{x}_i - \mathbf{x}, \sigma_{xy}) w_{loc}(\mathbf{x}_i)|} \quad (5)$$

$$K_{loc}(\mathbf{x}, \sigma_{xy}) = \exp\left(-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma_{xy}^2}\right) \quad (6)$$

求めた移動量 $\Delta\mathbf{x}$ (図 7) と前フレームでの移動体領域の中心 $\mathbf{x}$ を用いて、現フレームでの移動量 $\mathbf{x}' = \mathbf{x} + \Delta\mathbf{x}$ を求める。

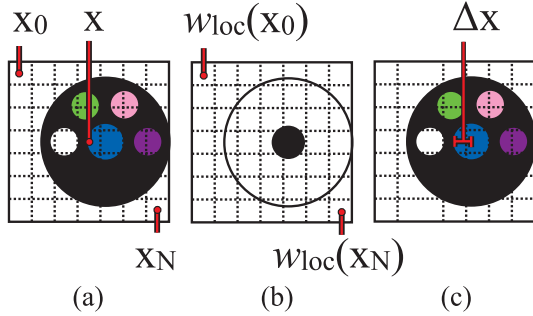


図 7 画像空間での Mean-Shift

Step2 照度空間における Mean-Shift 次に、Step1 より求めた移動後の座標 $\mathbf{x}'$ の周辺ピクセルから照度空間における移動量 ΔEv を求める。追跡中心 $\mathbf{x}'$ の周辺ピクセル $\mathbf{x}_i (i = 0, \dots, N)$ 色 $(\hat{I}_r(\mathbf{x}_i), \hat{I}_g(\mathbf{x}_i), \hat{I}_b(\mathbf{x}_i))$ が対象色のどの照度の RGB 値に近いを求めるために、各照度 $Ev_k (k = 0, \dots, max)$ での RGB-照度モデルから求めた物体色 $(I_r(k), I_g(k), I_b(k))$ との類似度 $S(k, \mathbf{x})$ を次式により求める。

$$S(k, \mathbf{x}) = \frac{\hat{I}_r(k)I_r(\mathbf{x}) + \hat{I}_g(k)I_g(\mathbf{x}) + \hat{I}_b(k)I_b(\mathbf{x})}{\sqrt{(\hat{I}_r^2(k) + \hat{I}_g^2(k) + \hat{I}_b^2(k))(I_r^2(\mathbf{x}) + I_g^2(\mathbf{x}) + I_b^2(\mathbf{x}))}} \quad (7)$$

$(k = 0, \dots, max)$

類似度 $S(k, \mathbf{x})$ は、移動物体の中心領域から離れるにしたがい異なる色の可能性が高くなるため、画像空間のカーネル関数 (式 6) により移動体の中心を強調した重みを作成する。

次に、図 8 に各ピクセルにおける照度推定値を各照度で加算することにより照度空間の重み $w(Ev_k)$ を求める。

$$w_{Ev}(k) = \sum_{i=0}^N K_{loc}((\mathbf{x}_i - \mathbf{x}'), \sigma_{xy}) S(k, \mathbf{x}_i) \quad (8)$$

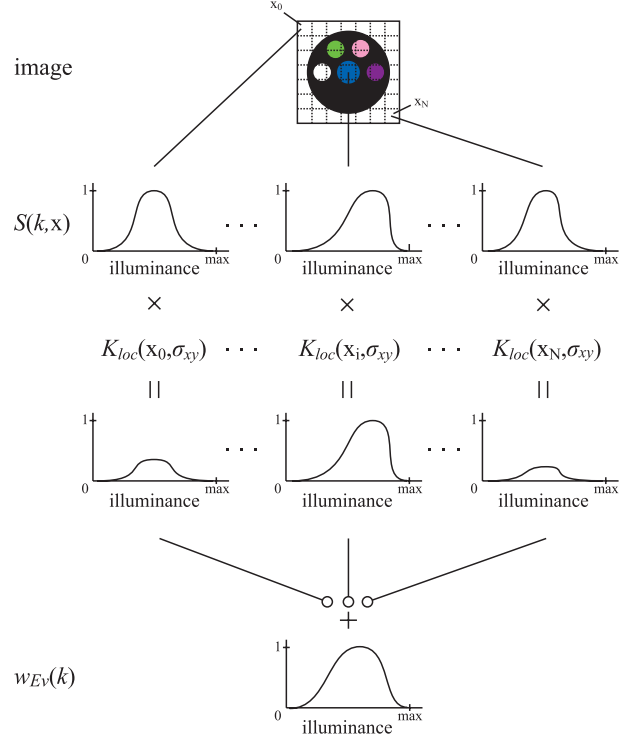


図 8 照度空間の重みの統合

$w(Ev_k)$ は、0 から $max[lx]$ までの重みとなるため、探索領域に追跡物体以外のものが存在する場合、重みが多峰となり誤推定をすることが考えられる。そこで、前フレームでの照度を考慮するため、照度空間における一次元のカーネル関数 $K_{Ev}()$ を用い推定照度の変化を抑制し照度推定精度を向上させる。 $w(Ev_k)$ と $K_{Ev}()$ を用いて照度空間の変化量 ΔEv を式 (9) から求める。

$$\Delta Ev = \frac{\sum_{k=0}^{max} K_{Ev}(k - Ev) w_{Ev}(k) (k - Ev)}{\sum_{k=0}^{max} w_{Ev}(k)} \quad (9)$$

$$K_{Ev}(k, \sigma_{Ev}) = \exp\left(-\frac{k^2}{2\sigma_{Ev}^2}\right) \quad (10)$$

しかし、 σ_{Ev} の値が小さい場合、急激な照明変動がおこる環境に対応できなくなる。また、値が大きい場合には照度推定精度が低下する恐れがある。そこで、値を照度空間での重み $w_{Ev}(k)$ のピークの照度 k_{max} と前フレームの照度 Ev との差から σ_{Ev} を決定することにより、これらの問題を解決する。この時、 $\Delta\sigma_{max}$ は σ_{Ev} の最大変化量とし、照度の最大変化量を Ev_{max} とすると次式であらわされる。

$$\sigma_{Ev} = (\Delta\sigma_{max}) \times \frac{|Ev - k_{max}|}{Ev_{max}} \quad (11)$$

求めた変化量 ΔEv (図 9) を前フレームでの照度 Ev に加え最新の照度 $Ev' = Ev + \Delta Ev$ を求める。

Step3 繰り返し処理 Step1 から移動量 $\Delta\mathbf{x}$ を求め、移動体追跡領域中心をシフトさせ追跡対象位置を $\mathbf{x}'$ とする。次に Step1 で求めた $\mathbf{x}'$ と前に推定された照度 Ev を用いて、Step2 から移

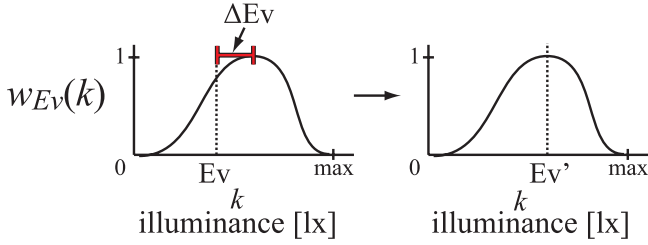


図 9 照度空間での Mean-Shift

動量 ΔE_v を求め、移動体追跡領域の照度をシフトさせ現在の照度を $E_{v'}$ とする。これらの処理を $|\Delta \mathbf{x}| < \varepsilon_{xy}$, $|\Delta E_v| < \varepsilon_{Ev}$ を満たすまで交互に繰り返し最適な移動体中心と照度を求める。 ε_{xy} と ε_{Ev} はしきい値である。

3.2 複数色の追跡

複数のカラーパッチを持つ物体を追跡するには、ターゲット色毎の RGB-照度モデルを作成し、それぞれの色に対して重みを求めることで、複数色への対応が可能となる。

Step0 前処理 各ターゲット色に対する RGB-照度モデルと追跡する色の数を入力する。単色の場合と同様に、各 RGB-照度モデルを現在のアイリスに補正する。初期フレームの移動体の画像空間での位置 $\mathbf{x} = (x, y)$ を初期値として入力し、モデルと $\mathbf{x}$ での類似度の最大を与える照度を E_v とする。

Step1 画像空間における Mean-Shift 各色モデルを c (青, 白, 緑, ピンク, 紫) とし、それぞれの RGB-照度モデルから式 (4) を用いて画像空間での重み分布 $w_{loc}(\mathbf{x})^c$ を求める。そして、各画素 $\mathbf{x}_i$ ごとに最大値となるターゲット色 $c1$ の重みを $w_{loc}(\mathbf{x}_i)^{c1}$ とし、次に大きいターゲット色 $c2$ の重みを $w_{loc}(\mathbf{x}_i)^{c2}$ とする。各画素における統合した重み分布 $w'_{loc}(\mathbf{x}_i)$ は次式で求める。

$$w'_{loc}(\mathbf{x}_i) = w_{loc}(\mathbf{x}_i)^{c1} \frac{w_{loc}(\mathbf{x}_i)^{c1}}{w_{loc}(\mathbf{x}_i)^{c2}} \quad (12)$$

式 (12) は、 $w_{loc}(\mathbf{x}_i)^{c1}$ を $w_{loc}(\mathbf{x}_i)^{c2}$ で割ることにより、 $w_{loc}(\mathbf{x}_i)^{c1}$ と $w_{loc}(\mathbf{x}_i)^{c2}$ の値が近い場合の重みは小さく、遠い場合は大きくなり、 $w'_{loc}(\mathbf{x}_i)$ の信頼度を向上させている。このとき、各画素毎に、 $w'_{loc}(\mathbf{x}_i)$ で選択されたターゲット色を記憶しておく。

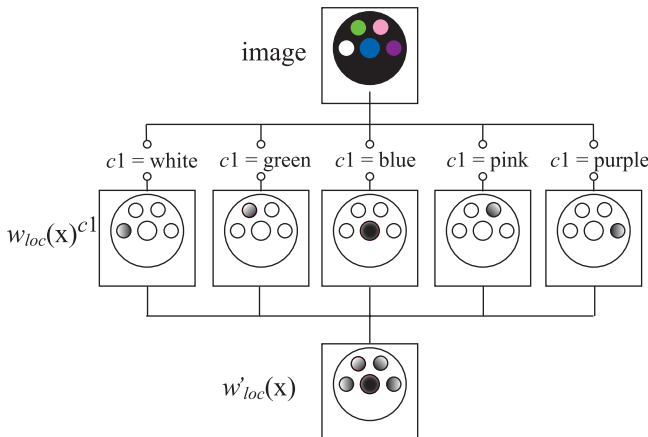


図 10 画像空間での重みの統合 (複数色)

求めた画像空間での重みから移動量 $\Delta \mathbf{x}$ を求め、前フレームでの移動体領域の中心 $\mathbf{x}$ を用いて、現フレームでの移動量 $\mathbf{x}' = \mathbf{x} + \Delta \mathbf{x}$ を求める。

Step2 照度空間における Mean-Shift 各画素毎に選択されたターゲット色 $c1$ に対応する RGB-照度モデルから類似度 $S(k, \mathbf{x})^{c1}$ を求める (式 7)。 $S(k, \mathbf{x})^{c1}$ から 3.1 の Step2 と同様に照度空間での統合した重み $w(Ev_k)$ を求める。

重み $w(Ev_k)$ から照度空間の変化量 ΔE_v を求め、前フレームでの照度 E_v に加え最新の照度 $E_{v'} = E_v + \Delta E_v$ を求める。

Step3 繰り返し処理 最新フレームにおいて Step1 と Step2 を交互に $|\Delta \mathbf{x}| < \varepsilon_{xy}$, $|\Delta E_v| < \varepsilon_{Ev}$ を満たすまで繰り返し最適な追跡領域中心と照度を求める。

3.3 オートアイリスへの対応

カメラに入射する光を一定に保つ機能であるオートアイリスを用いる場合、入射する光により F 値が変化するため、モデルから直接照度を求めることができない。しかし、F 値が変化する場合、図 4 に示す RGB-照度モデルにおける照度値は異なるが二次曲線の傾きは変化しない。従って、照度空間における Mean-Shift での照度 E_v をカメラの CCD に入射する光の強度 I と仮定すると、 I の変化 (照度変化・オートアイリスによる変化) を考慮したカラー追跡を実現できる。

また、オートアイリスによって変化した F 値をカメラから得ることができれば、 I から式 (3) の関係を用いて照度を推定することも可能である。

4. 評価実験

4.1 実験概要

本実験では、カメラを図 3 に示すように高さ約 2,800mm に取り付け、床面約 1,500×1,200[mm] の範囲が視野に入るように設置し移動体上部の青色マークを追跡対象とする。照度を 1,300[lx] から 0[lx] まで変化させた場合の追跡実験を行い照度推定結果と追跡精度を求める。また、追跡精度を比較するため従来の初期ヒストグラムを用いた Mean-Shift 法 [2] と提案手法の位置推定誤差を測定する。本実験では、照度推定結果と測定値を比較するためアイリスを固定した状態で行う。また、照明の種類を変えないため色温度は固定とする。

4.2 実験結果

図 11 に追跡結果と重み分布 (式 4) を示す。図 13 に緩やかな照明変化した場合の照度推定と位置推定結果と照度のカーネル関数 σ を示す。1300[lx] から 58[lx] の照度変化に追従した照度の推定が可能であることがわかる。 σ は各フレーム内で変化した σ での合計の値である。緩やかな変化では σ の値が小さいことがわかる。提案手法は、照度空間での Mean-Shift により現フレームにおける照度を推定するため、異なる照明条件でも移動体を正確に追跡することができる。

次に、図 14 に急激な照明変化した場合の照度推定と位置推定結果と照度のカーネル関数 σ を示す。急激な照度変化が起るフレームほど σ が大きいことがわかる。提案手法を用いることにより、急激な照度変化に対する位置推定精度は従来法に比べ向上していることがわかる。

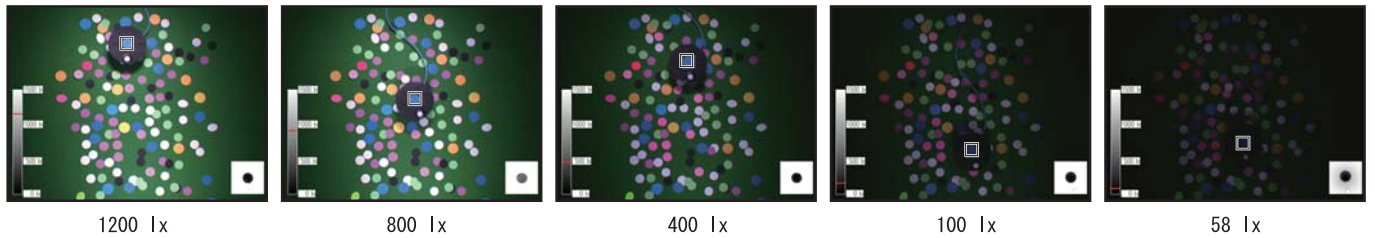


図 11 単一色での追跡結果

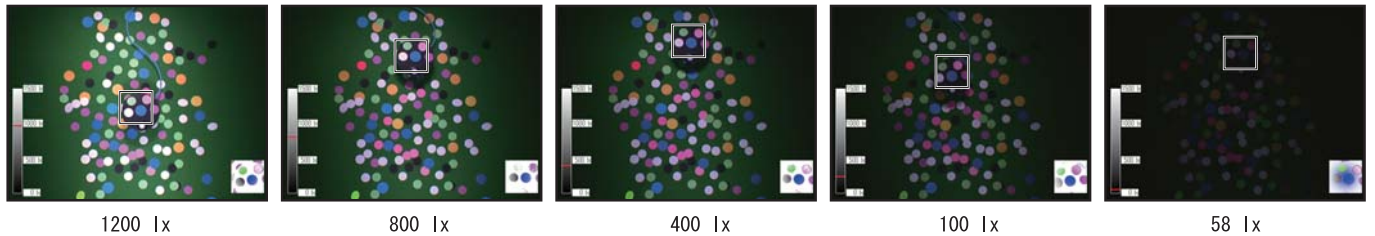


図 12 複数色での追跡結果

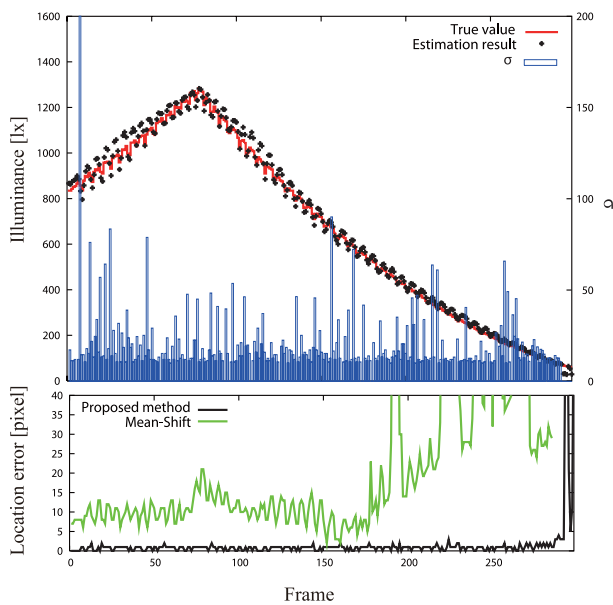


図 13 緩やかな照明変化

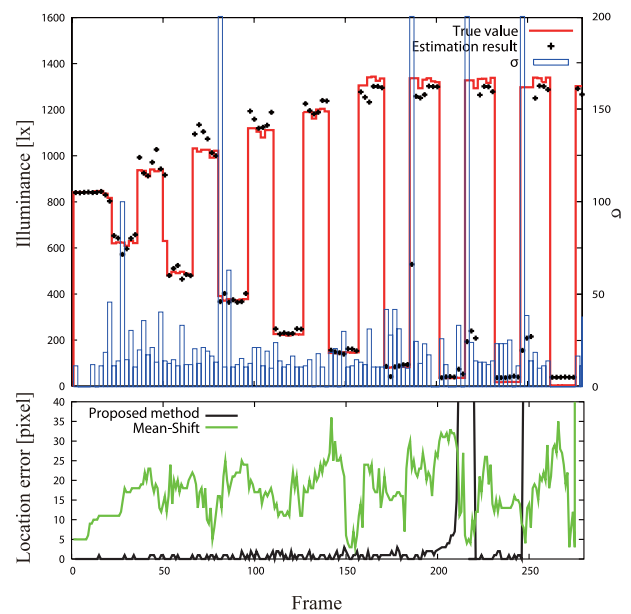


図 14 急激な照明変化

4.3 複数色での追跡結果

追跡物体が複数のターゲット色からなる物体である場合、3.2で述べた手法により移動体を追跡することができる。図 12 に各色の重みを統合した結果と追跡した例を示す。単色のアプローチを展開することで、複数色の追跡が可能であることがわかる。

5. おわりに

本稿では、識別空間に照度を加えた RGB-照度空間を作成し、画像空間と照度空間をそれぞれ Mean-Shift により移動量を求める照度変化に頑健なカラートラッキング手法を提案した。本手法では、照度空間で Mean-Shift を用いることにより照度推定が可能であることを示し、最適な照度で画像空間の Mean-Shift を行うことにより、照度変化に対して高精度な追跡を実現した。また、提案手法は複数色の追跡に展開することが可能であることを示した。今後は、作成した色の RGB-照度モデルから比を

もちいて未知色の RGB-照度モデルの推定について検討する予定である。また、色温度は色温度空間を作成し推定する方法を検討する予定である。

文 献

- [1] D.Comaniciu and P.Meer, "Mean Shift Analysis and Applications", in IEEE International Conference on Computer Vision, pp.1197-1203, 1999.
- [2] D.Comaniciu, V.Ramesh, and P.Meer, "Real-Time Tracking of Non-Rigid Objects using Mean Shift", in IEEE Computer Vision and Pattern Recognition, pp.142-149, 2000.
- [3] R.Collins, "Mean-shift Blob Tracking through Scale Space", in IEEE Computer Vision and Pattern Recognition, 2003.
- [4] 大池 洋史, 呉 海元, 加藤 文和, 和田 俊和, "鮮明な画像撮影のための高速追従型アクティブカメラ", 情報処理学会 (CVIM), Vol.2004, No.40, pp.71-78, 2004.
- [5] 加藤 文和, 深尾 隆則, 羽下 哲司, "対象追跡-フレーム間の類似度に着目した手法から動きのモデルに着目した手法まで", 情報処理学会 (CVIM), Vol.2005, No.88, pp.185-198, 2005.