

# BP-RRCの動的しきい値決定法

## Dynamic Threshold Decision Method of BP-RRC

野田 一成<sup>†</sup> 山内 仁<sup>‡</sup> 金川 明弘<sup>‡</sup>

Kazunari Noda Hitoshi Yamauchi Akihiro Kanagawa

### 1 はじめに

監視対象の情景を継続的に撮影した画像時系列から信頼性高く出現物体を検出し、背景から分離するための画像パターン検出技術は、環境監視 [1], 人物検出および人物追跡 [2], 動作解析 [3] など、様々な分野において重要となる基本技術である。特に実際の環境においては、情景が複雑な背景を持つ場合が多く、画像時系列中から出現物体のみを精度良く検出及び分離することが、その後の認識などの処理の性能に大きな影響を与える。本稿では照明変動など検出においてノイズとなる状況の変化がある場合でも安定した物体抽出を行うことを目的とする。

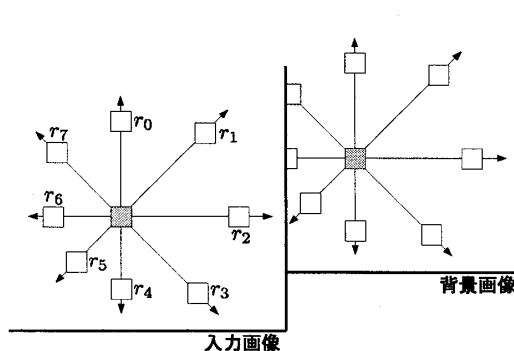


図 1: RRF のリーチの形成

### 2 Radial Reach Filter(RRF)

物体抽出手法として背景差分法 [4] が挙げられるが、この手法は背景画像と入力画像で明度変化が少ない場合は、背景差分法は演算量の少なさから非常に有効であるが、背景画像と入力画像の明度変化が大きくなる場合では背景差分法では物体を検出することが非常に困難である。このような明度変化が大きい場合では、RRF が提案されている [5]。RRF は着目点から放射状の延長腕 (リーチ) を伸ばし、しきい値以上の明度差を持つ点を探査し、明度値ペアを構成する。ここで各ペアにおける明度の大小関係を 2 値符号列とし、その符号列間の相関値を着目画素の類似度として、類似度が低い領域を出現物体とする手法である。図 1 に RRF のリーチの形成の様子を示す。図 1 は背景画像と入力画像の任意の点から放射状にリーチを伸ばしており、それぞれのペア画素から任意の画素の類似度を決定する。

ここで画像内の任意の位置ベクトルを  $\mathbf{p} = (x, y)$  と表し、放射状のリーチを延長する方向ベクトルを  $\mathbf{d}_k (k = 0, \dots, 7)$  と定義すると、 $\mathbf{d}_0 = (1, 0)$ ,  $\mathbf{d}_1 = (1, 1)$ ,  $\mathbf{d}_2 = (0, 1)$ ,  $\mathbf{d}_3 = (-1, 1)$ ,  $\mathbf{d}_4 = (-1, 0)$ ,  $\mathbf{d}_5 = (-1, -1)$ ,  $\mathbf{d}_6 = (0, -1)$ ,  $\mathbf{d}_7 = (1, -1)$  となる。これらの

方向へのリーチを  $\{r_k\}_{k=0}^7$  とすると  $r_k$  は式 (1) で求められる。

$$r_k = \min\{r \mid |f(\mathbf{p} + r\mathbf{d}_k) - f(\mathbf{p})| \geq T_p\} \quad (1)$$

ここで  $f$  は背景画像,  $T_p$  は明度差分のしきい値を表す。

式 (2) より式 (1) で得られたリーチのペア同士の差分が正の場合は 1 を、そうでない場合は 0 をそのリーチの値としてリーチ群を 8 次元のベクトルで表す。

$$b_k(\mathbf{p}) = \begin{cases} 1 & (\text{if } f(\mathbf{p} + \mathbf{d}_k r_k) \geq f(\mathbf{p})) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (2)$$

同様に入力画像  $g$  についても式 (3) よりリーチ群を求める。

$$b'_k(\mathbf{p}) = \begin{cases} 1 & (\text{if } g(\mathbf{p} + \mathbf{d}_k r_k) \geq g(\mathbf{p})) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (3)$$

これらから背景画像と入力画像間の任意の画素の類似性を評価するために式 (4) より相関値を求め、それを類似度  $B(\mathbf{p})$  と定義する。

$$B(\mathbf{p}) = \sum_{k=0}^7 \{b_k(\mathbf{p}) \cdot b'_k(\mathbf{p}) + \overline{b_k(\mathbf{p})} \cdot \overline{b'_k(\mathbf{p})}\} \quad (4)$$

得られた画素に対する類似度  $B(\mathbf{p})$  と閾値  $T_B$  を比較することで、類似しない部分を 1, 類似する部分を 0 と

<sup>†</sup>岡山県立大学大学院 情報系工学研究科

<sup>‡</sup>岡山県立大学 情報工学部

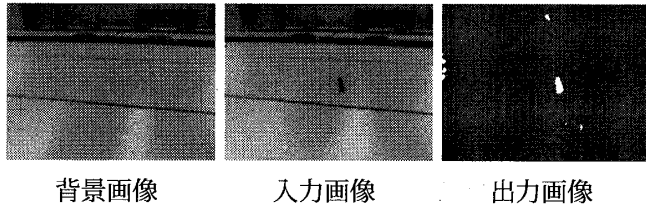


図 2: RRF による出現物体の検出



図 3: より明度変化が大きい場合の RRF による出現物体の検出

する 2 値画像を RRC 画像とする。この RRC 画像に対して領域連結処理を施し、これを RRF 画像と呼ぶ。

RRF を用いた物体検出の結果例を図 2 に示す。これより図中央の物体が検出されていることが分かる。

また、背景画像に対して入力画像が暗い状況に対する結果例を図 3 に示す。図より、図 2 よりも大きく複雑な明度変化が起こっているため、注目画素とペア画素の明度差の符号の保存性が損なわれ、検出が困難になっている。

### 3 Bi-polar Radial Reach Correlation

RRC では 2 点間の明度差の符号の保存性に注目しており、明度変化が大きい、かつ複雑である場合は保存性が損なわれることになる。そこで対象とする画素を増やすことで、より複雑な明度変化に適応した手法として Bi-polar Radial Reach Correlation (BP-RRC) が提案されている [6]。BP-RRC は注目点から放射状の 8 方向の明度差の正・負の関係を利用した、明度変化にロバストで、対象のテクスチャが微弱な場合や明度分布に偏りがある場合においても安定的な情景分離手法である。BP-RRC のリーチの形成を図 4 に示す。これより着目画素から放射状に各リーチそれぞれ正と負のリーチが形成されることがわかる。

ここで RRF と同様に、画像内の任意の位置ベクトルを  $\mathbf{p} = (x, y)$  と表し、放射状のリーチを延長する方向ベクトルを  $\mathbf{d}_k (k = 0, \dots, 7)$  と定義する。それぞれの方向に対し、着目点よりリーチ点の明度のほうが高い場合、正の明度差を持つリーチ  $\{r_k^+\}_{k=0}^7$ 、着目点よりリー

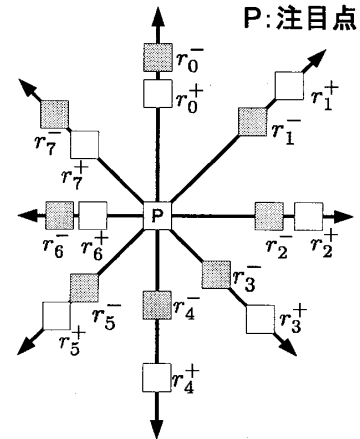


図 4: BP-RRC のリーチの形成

チ点の明度のほうが低い場合、負の明度差を持つリーチ  $\{r_k^-\}_{k=0}^7$  として、それぞれを求めると式 (5), (6) となる。図中ではそれぞれ白四角、灰四角で表わしている。

$$r_k^+ = \min\{r \mid f(\mathbf{p} + r\mathbf{d}_k) - f(\mathbf{p}) \geq T_p\} \quad (5)$$

$$r_k^- = \min\{r \mid f(\mathbf{p}) - f(\mathbf{p} + r\mathbf{d}_k) \geq T_p\} \quad (6)$$

ここで  $f$  は背景画像、 $T_p$  は明度差分のしきい値を表す。このとき、正のリーチ点と負のリーチ点の両方が画像中に存在するときは、正負の両方のリーチ点と注目点の極性を調べ、入力画像と背景画像が類似しているか判定する。類似している場合は 1、そうでない場合は 0 そのリーチの値とする。また、正負のいずれかのリーチ点のみ画像中に存在するときは、正 (負) のリーチ点と注目点の極性を調べ、入力画像と背景画像が類似しているか判定する。

正負どちらのリーチ点も画像中に存在しない場合は式 (7) より当該方向のリーチそのものを無効とする。このときリーチの有効無効を定義するために  $c_k(\mathbf{p})$  を定義する。

$$c_k(\mathbf{p}) = \begin{cases} 1 & (\text{if } \mathbf{p} + r_k^+ \mathbf{d}_k \in f \cup \\ & \mathbf{p} + r_k^- \mathbf{d}_k \in f) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (7)$$

以上から、背景画像と入力画像間の任意の画素の類似度を評価するため、両者の相関を表す  $B'$  を式 (8) のように定める。

$$B'(\mathbf{p}) = \frac{1}{\sum_{k=0}^7 c_k(\mathbf{p})} \sum_{k=0}^7 c_k(\mathbf{p}) b_k(\mathbf{p}) \quad (8)$$

得られた類似度を式 (9) により類似しない部分を 1、類似する部分を 0 とする 2 値画像を出力画像とする。BP-



図 5: BP-RRC による出現物体の検出



図 6: 閾値を変更した BP-RRC による出現物体の検出

RRC を用いた物体検出の結果を図 5 に示す。

$$C(\mathbf{p}) = \begin{cases} 1 & (B'(\mathbf{p}) < T_B) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (9)$$

図 5 より、BP-RRC は RRF よりも強い照明変動のある状況でも有効性を示しているが、完全に物体を抽出できていないわけではない。このとき、BP-RRC における閾値  $T_p$ 、 $T_B$  の値はそれぞれ  $T_p = 20$ 、 $T_B = 0.5$  である。

ここで、 $T_p$  は対象画像により変動の可能性が考えられる。仮に  $T_p = 70$  にした例を図 6 に示す。この結果より、検出の精度は閾値に依るところが大きいと考えられる。

## 4 提案手法

先に述べたように BP-RRC の精度は不安定であり、BP-RRC の検出精度を安定させるために、精度への影響の大きい閾値を動的に決定する手法を提案する。リーチに対する閾値の決定には、背景画像と入力画像のリーチ方向の輝度勾配の変化が大きい部分をリーチのペア画素とするためにリーチ方向の明度値の分散の値を用いて、リーチそれぞれに対して、閾値を求める。また、着目画素とリーチ点の明度差によりペアを求めるのではなく、リーチ点とその隣接画素の明度差と閾値を比較することで、明度の勾配が局所値を取る前にペア画素となることを防ぐ。このとき、 $l$  を当該リーチ方向の画素数、 $e$  をリーチ全体の平均明度値として、式 (10) に閾値を求める式を示す。

$$T'_p = \frac{1}{l} \sum_{k=1}^l \{e - f(\mathbf{p} + r_k \mathbf{d}_k)\}^2 \quad (10)$$

ここで得られた閾値  $T'_p$  を用いて正のリーチ点、負のリーチ点を求めると式 (11)、(12) のようになる。

$$r_k^+ = \min\{r \mid f(\mathbf{p} + r \mathbf{d}_k) - f(\mathbf{p} + (r-1) \mathbf{d}_k) \geq T'_p\} \quad (11)$$

$$r_k^- = \min\{r \mid f(\mathbf{p} + (r-1) \mathbf{d}_k) - f(\mathbf{p} + r \mathbf{d}_k) \geq T'_p\} \quad (12)$$

このとき  $f$  を背景画像、 $\mathbf{d}_k$  をリーチを延長する方向ベクトル、 $r_k^+$ 、 $r_k^-$  をそれぞれ正のリーチ、負のリーチとする。 $\mathbf{p} + r_k^+ \mathbf{d}_k$ 、 $\mathbf{p} + r_k^- \mathbf{d}_k$  と  $f$  との関係により、 $b_k$  は次のように決定する。

$\mathbf{p} + r_k^+ \mathbf{d}_k \in f \cap \mathbf{p} + r_k^- \mathbf{d}_k \in f$  の場合

$$b_k(\mathbf{p}) = \begin{cases} 1 & (\text{if } g(\mathbf{p} + \mathbf{d}_k r_k^+) \geq g(\mathbf{p}) \\ & \cap g(\mathbf{p}) \geq g(\mathbf{p} + \mathbf{d}_k r_k^-)) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (13)$$

正のリーチ点と負のリーチ点の両方が画像中に存在するときは正負の両方のリーチ点と注目点の条件が両方満たされている場合に 1、そうでない場合は 0 をそのリーチの値とする。(式 (13) 参照)

$\mathbf{p} + r_k^+ \mathbf{d}_k \in f \cap \mathbf{p} + r_k^- \mathbf{d}_k \notin f$  の場合

$$b_k(\mathbf{p}) = \begin{cases} 1 & (\text{if } g(\mathbf{p} + \mathbf{d}_k r_k^+) \geq g(\mathbf{p})) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (14)$$

正のリーチ点のみ画像中に存在するときは正のリーチ点と注目点の条件が満たされている場合に 1、そうでない場合は 0 をそのリーチの値とする。(式 (14) 参照)

$\mathbf{p} + r_k^+ \mathbf{d}_k \notin f \cap \mathbf{p} + r_k^- \mathbf{d}_k \in f$  の場合

$$b_k(\mathbf{p}) = \begin{cases} 1 & (\text{if } g(\mathbf{p}) \geq g(\mathbf{p} + \mathbf{d}_k r_k^-)) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (15)$$

負のリーチ点のみ画像中に存在するときは負のリーチ点と注目点の条件が満たされている場合に 1、そうでない場合は 0 をそのリーチの値とする。(式 (15) 参照)

$\mathbf{p} + r_k^+ \mathbf{d}_k \notin f \cap \mathbf{p} + r_k^- \mathbf{d}_k \notin f$  の場合

$$b_k(\mathbf{p}) = \begin{cases} 1 & (\mathbf{p} + r_k^+ \mathbf{d}_k \notin f \cap \mathbf{p} + r_k^- \mathbf{d}_k \notin f) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (16)$$

BP-RRC では正負どちらのリーチ点も画像中に存在しない場合は式 (7) より当該方向のリーチそのものを無効としていた。しかし、提案手法ではリーチを全て検出に利用するために、当該方向に正負どちらのリーチも存在しない場合、入力画像  $g$  と背景画像  $f$  のリーチを比較し、どちらの画像でもリーチが検出されない場合には、そのリーチは類似していると判断し、類似度を上げる。また、入力画像  $g$  において、当該方向に正負どちらのリーチも検出されない場合で、背景画像  $f$  においてリー

チが検出された場合は、入力画像  $g$  と背景画像  $f$  は類似していないと判断し、類似度を下げる。

以上より、背景画像と入力画像間の任意の画素の類似度を評価するため、両者の相関を表す  $B''(\mathbf{p})$  を式 (17) のように定め、それを任意の画素における背景画像  $f$  と入力画像  $g$  の類似度として定義する。

$$B''(\mathbf{p}) = \sum_{k=0}^7 b_k(\mathbf{p}) \quad (17)$$

ここで得られた類似度  $B''(\mathbf{p})$  を閾値  $T_B$  と比較することで、物体を抽出する。

## 5 実験結果

以下に提案手法を用いて実験を行った結果を示す。図7に照明変動のない状況での物体抽出を行った結果を示す。図7より、照明変動がない場合は安定して物体を検

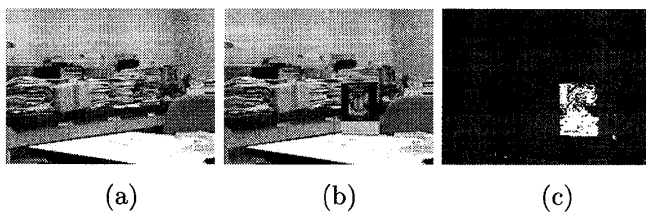


図7: 提案手法による出現物体の検出 (照明変動なし)

出していることが分かる。

次に、全体を照明により明るくすることで意図的に明度値を変化させた場合の結果を図8示す。これより、照

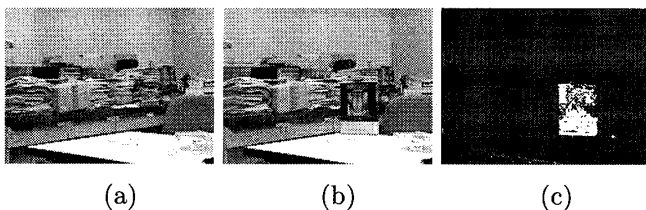


図8: 照明を点けた場合の提案手法による出現物体の検出 (蛍光灯による線光源, 室内灯)

明によって画像全体の範囲が明るくなった場合においても正しく物体を検出することができていることが分かる。

続いて、照明を消すことで画像全体の明度値を変化させた場合の結果を図9に示す。これより、入力画像と背景画像の同画素での明度値の値が照明変動により、変わってしまっている場合でも、有効的な閾値を選択している。

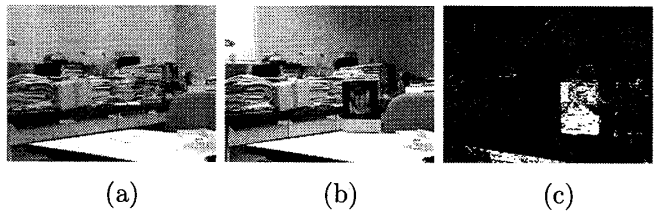


図9: 照明を消した場合の提案手法による出現物体の検出 (線光源なし, 室内灯消灯)

## 6 結論

閾値を動的に変更していくことで、より多様な状況においても安定して物体を検出することができた。しかし、明度変化の極端に激しい状況などでは、既存手法よりは精度良く検出しているが、不完全な部分も見られるので、今後改善していく必要がある。

## 参考文献

- [1] I.Haritaoglu, D.Harwood, and L.Davis, "W4: Who? When? Where? What? A Real Time System for Detecting and Tracking People," Proc. the 3rd International Conference on Automatic Face and Gesture, pp. 222-227, 1998.
- [2] C.Wren, A.Azarbayejani, T.Darrell, and A.Pentland, "Pfinder: Real-Time Tracking of the Human Body," IEEE Trans. PAMI, Vol.19, No.7, pp. 780-785, 1997.
- [3] J.K.Aggarwal, and R.O.Duda, "Computer Analysis or Moving Polygonal Images," IEEE Trans. Computer, Vol.C-24, pp.966-976, 1975.
- [4] P.L.Rosin, "Thresholding for Change Detection," Proc. ICCV98, pp.274-279, 1998.
- [5] 佐藤雄隆, 金子俊一, 丹羽義典, 山本和彦: "Radial Reach Filter (RRF) によるロバストな物体検出," 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J86-D-II, No.5, pp.616-624, 2003.
- [6] 佐藤雄隆, 坂上勝彦: "Bi-polar Radial Reach Correlation によるロバスト背景差分," 電子情報通信学会技術研究報告, PRMU2004-224, Vol.104, No. 741, pp.73-78, 2005.