

リーチ長変動検出型 BP-RRC による物体検出 An Object Detection by BP-RRC with Reach Distance Comparison

山内 仁[†] 野田 一成^{†‡} 滝本 裕則[†] 金川 明弘[†]
Hitoshi Yamauchi Kazunari Noda Hironori Takimoto Akihiro Kanagawa

1. はじめに

監視対象の情景を継続的に撮影した時系列画像からの出現物体検出・分離、環境監視、人物検出および人物追跡、動作解析など、様々な分野において重要となる基本技術である。時系列画像中から出現物体のみを精度良く検出及び分離することは、その後の認識などの処理の性能に大きな影響を与える。しかし現実の環境においては、情景が複雑な背景を持つ場合が多く、また照明変動等の外乱のため、困難な問題である。本稿では、照明変動による画像の輝度変化に頑健な物体検出手法を提案する。

2. BP-RRC

物体検出手法は数多く提案されているが、あらかじめ撮影された背景画像、侵入物が存在する状況で撮影された入力画像について、双方で輝度変化が大きい場合、物体の検出は困難である。これに対して、輝度変化が発生している場合でも物体検出ができる手法として Bi-polar Radial Reach Correlation (以下 BP-RRC) [1] が提案されている。この手法は、任意の注目画素から放射状 8 方向に画素を探索し、注目画素との輝度差の正・負の関係を利用した、輝度変化にロバストで、微弱なテクスチャや輝度分布の偏りに対しても安定的な情景分離手法である。

画像内の任意の位置ベクトルを $p = (x, y)$ 、放射状のリーチを延長する方向ベクトルを d_k ($k = 0, \dots, 7$) とする。それぞれの方向に対し、注目画素よりリーチ先端の画素 (リーチ点) の輝度のほうが高い場合を正の輝度差を持つリーチ r_k^+ 、低い場合を負の輝度差を持つリーチ r_k^- とすると、それぞれは式 (1), (2) で表される。

$$r_k^+ = \min\{r \mid f(p + rd_k) - f(p) \geq T_p\}, \quad (1)$$

$$r_k^- = \min\{r \mid f(p) - f(p + rd_k) \geq T_p\} \quad (2)$$

ここで f は画像輝度、 T_p は輝度差分の閾値を表す。

リーチ点と注目画素の大小関係が背景画像と入力画像で保存されている場合は $b_k = 1$ 、そうでない場合は 0 とし、リーチの類似性を決定する。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、存在するもののみで類似判定を行う。正負どちらか一方のリーチ点が存在するか否かを表す $c_k(p)$ (式 (3) 参照) を用いて、背景画像と入力画像間の任意の画素の相関を表す類似度 $B'(p)$ は式 (4) で表される。

$$c_k(p) = \begin{cases} 1 & (\text{if } p + r_k^+ d_k \in f \vee p + r_k^- d_k \in f) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (3)$$

$$B'(p) = \frac{1}{\sum_{k=0}^7 c_k(p)} \sum_{k=0}^7 c_k(p) b_k(p) \quad (4)$$

得られた類似度に基づき、式 (5) 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し、これを RRC 画像と呼ぶ。

$$C(p) = \begin{cases} 1 & (B'(p) \leq T_B) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (5)$$

3. リーチ長変動検出型 BP-RRC

BP-RRC は、注目画素と正負リーチ点の大小関係が保存されていなければ出現物体を検出できない。そのため局所的な輝度変化には対応困難である。本稿では、BP-RRC の手法に基づいた、照明変動の影響を受け難いエッジ特徴を用いた手法を提案する。

提案手法は、リーチ点決定に注目画素との輝度差ではなく隣接画素間の輝度差を用い、その際に用いる閾値は輝度変化の分散値を用いて動的に決定する。また、類似性評価はリーチ長の変動を検出することによって行うが、その際の変動許容量を漸次的に変化させることにより、環境の多様性に対応する。

3.1 輝度分散値を利用したリーチ確定手法

リーチ点の決定において、照明変動が起こった場合でも正しく物体領域を検出するため、提案手法では輝度変動の影響を受けにくいエッジ上の点をリーチ点とする。エッジとリーチ探索方向の交点は、リーチ点候補画素と注目画素方向に隣接している画素の輝度差を求め、その差が大きい場合にこの画素をリーチ点とする。このとき、輝度差の正負により、正または負のリーチ点とする。

輝度差の大小判定は、リーチ点候補画素までの輝度差の分散値を閾値として、輝度差が閾値よりも大きい場合にリーチ点として確定する。輝度差の分散を閾値とすることで、輝度差がそれまでの値と比較して大きくなる値をリーチ点として確定するため、画像全体の輝度値がどのような場合でも、エッジを検出することが可能となる。

閾値を T_p' とすると、正および負のリーチ r_k^+ , r_k^- はそれぞれ式 (6), (7) で表される。

$$r_k^+ = \min\{r \mid f(p + rd_k) - f(p + (r-1)d_k) \geq T_p'\}, \quad (6)$$

$$r_k^- = \min\{r \mid f\{p + (r-1)d_k\} - f(p + rd_k) \geq T_p'\} \quad (7)$$

ただし、単純に探索方向の輝度変化を利用しただけでは輝度変化の大きな点を求めることができない場合がある。例えば、大きな輝度変化の直後に、直前の輝度変化ほど大きくないがエッジとして考えられる点が存在する場合、直前の変化量増大により分散値が急激に増大して直後のエッジを求めることができない。このことは、正・負のリーチ双方を求めたい場合に、単純に閾値 1 つでは求めることができないことを意味する。よって、輝度変化の正負それぞれに対応する閾値 T_p^{+} , T_p^{-} をそれぞれ設定する。また、探索範囲の注目画素近辺等で輝度変化の

[†]岡山県立大学, Okayama Prefectural University

[‡]現 倉敷紡績 (株), Kurabo Industries, Ltd.

分散値が著しく低い場合に微小な変化でリーチ点として検出するのを防ぐため、各リーチ決定閾値に最小値 T'_{Pmin} を設定する。

3.2 リーチ長変動検出による類似性評価法

前節の手順により、背景画像と入力画像それぞれに対して注目画素から正負リーチ点までの距離を求め、それらと比較することでリーチの類似性を評価する。背景画像における正負のリーチをそれぞれ r_f^+ , r_f^- , 入力画像における正負のリーチをそれぞれ r_g^+ , r_g^- とする。ここで正負のリーチそれぞれの距離を比較するために絶対値差分を求める。この値が 0 ならば背景画像と入力画像は類似していることが推定される。また、現実の環境では微小な光量の変化や撮像素子自体のノイズなどの影響で、実際には変化がない場合においても差が生じる場合があるため、閾値を設定して、その閾値以上の変化がある場合に類似性が低いと判定する。しかし、 r_f^+ や r_g^+ はピクセル距離であり、画像の解像度次第で閾値の値も変化するため、前述した差の絶対値を正規化して考える。以上の処理より、類似していると判断した場合はリーチの類似性判定値 $b_k^\pm$ の値を 1、類似していない場合は 0 とする (式 (8), (9) 参照)。

$$b_k^+(p) = \begin{cases} 1 & \left(\text{if } \left| \frac{r_f^+ - r_g^+}{r_f^+} \right| \leq T \right) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases}, \quad (8)$$

$$b_k^-(p) = \begin{cases} 1 & \left(\text{if } \left| \frac{r_f^- - r_g^-}{r_f^-} \right| \leq T \right) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (9)$$

それぞれのリーチの類似性評価値の平均値を注目画素の類似度 $B(p)$ として式 (10) で定義する。

$$B(p) = \frac{1}{16} \sum_{k=0}^7 (b_k^+(p) + b_k^-(p)) \quad (10)$$

得られた類似度を式 (11) により、リーチの過半数が類似していないと判定された場合は注目画素を物体領域として 1、類似していると判定された場合、背景領域として 0 とする 2 値画像を出力画像とする。

$$C(p) = \begin{cases} 1 & (B(p) < T_B) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (11)$$

3.3 温度パラメータを用いた物体検出手法

前節のリーチ長比較の際に、閾値 T の値を用いて類似性を評価している。 T が小さい場合、背景画像と入力画像でリーチ長が近い値を取らなければ類似性を認められず、物体領域を発生させ易い結果となるため、多くの誤検出が起こる。また T が大きい値の場合、リーチ長が大きく変化しなければ物体領域であると認識しないため、結果はノイズが少ない代わりに、検出するべき物体領域が大きく欠けることになる。そこで、パラメータ T を温度パラメータと定義し、最初は大きな値にして物体領域の候補となる領域を探索する。そこから冷却ステップに

おいて徐々に T を小さくし、検出された物体領域となる画素の 4 近傍の画素を物体候補領域として、物体検出を行う。なお、 T の初期値を T_{START} 、冷却ステップにおける T の冷却幅を T_{cut} 、最小温度を T_{END} とする。

4. 検証実験

提案手法を検証するために実験を行った。画像の解像度は 640×480 画素、提案手法の各パラメータは $T'_{Pmin} = 5$, $T_{START} = 2.0$, $T_{cut} = 0.1$, $T_{END} = 0.1$ とし、比較対象は BP-RRC とした。BP-RRC の各パラメータは $T_p = 20$, $T_B = 0.5$ とした。背景画像を図 1、入力画像を図 2 とし、BP-RRC を適用した結果を図 3、提案手法を適用した結果を図 4 にそれぞれ示す。



図 1: 背景画像。



図 2: 入力画像。



図 3: BP-RRC 結果。

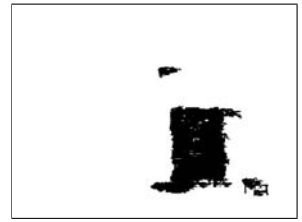


図 4: 提案手法結果。

入力画像は背景画像に対して物体を追加し、その状況から照明を消すことで照明変動を起こし、画像全体の輝度を変化させている。図 2 では影が大きく出現している等、輝度変化が大きく、隣接画素との関係がほとんど保存されていない。図 3 の BP-RRC の結果では、画像全体に誤検出が起きているため、物体領域を正しく検出できていない。これに対して図 4 の提案手法の結果では、誤検出は残っているが、BP-RRC と比較してより精度良く検出できていることが分かる。これより、提案手法が精度良く出現物体を検出可能であることが確認できる。

5. 結論

本論文では輝度変化に頑健なエッジ特徴を用いて、固定カメラで撮影された照明条件の異なる背景画像と入力画像から物体検出を行う手法を提案し、その有効性を示した。提案手法は物体領域検出の際に用いるパラメータ T の値に依るところが大きいので、どのような画像でも操作する必要なく物体領域の初期検出点を正確に検出することが今後の課題として挙げられる。

参考文献

- [1] 佐藤雄隆, 坂上勝彦, “Bi-polar Radial Reach Correlation によるロバスト背景差分”, 信学技報, PRMU2004-224, Vol. 104, No. 741, pp. 73-78, Mar. 2005.