

## 放射リーチ相関によるロバストな物体追跡

北海道大学大学院工学研究科 ○伊藤 誠也 武口 智行 金子 俊一 小野里 雅彦  
ソフトピアジャパン 佐藤 雄隆

## 要旨

本研究では固定視野の時系列画像群からロバストにイベントを抽出し、それらを安定に追跡するための新しい手法を提案する。放射リーチフィルタと呼ばれるロバストなイベント検出法によって検出された人物や車両などのイベントを、その際に算出される各画素毎のリーチ群を用いる統計処理に基づき、継続フレーム間のイベントの移動ベクトルを算出し追跡する。これにより、背景生成と各フレーム間の局所的な明度変化、遮蔽などの状況下でも安定したイベントの追跡が可能となる。

## 1. はじめに

整備されていない屋外環境などにおける施設や侵入監視、ITSにおける計数や車種識別などの情報処理、生産ラインにおける異物や欠陥検出・識別、屋内や通路などの歩行空間における歩行解析などのための基本的技術として、背景生成のイベント抽出や識別、追跡などが挙げられるが、これらに共通して重要な特性は不良条件に対するロバスト性である。本研究では、放射リーチフィルタ (Radial Reach Filter: RRF) と呼ばれるロバストなイベント検出法 [1] によって検出された人物や車両などのイベントを安定に追跡するための新しい手法を提案する。これは各画素ごとに既に算出されている方向性のリーチ群を用いる統計処理に基づくものであり、照明変動、遮蔽、ハイライト、局所的陰影などに強いロバスト性をもつという特長を有する。また、実時間処理のための高速化も行う。

## 2. RRF

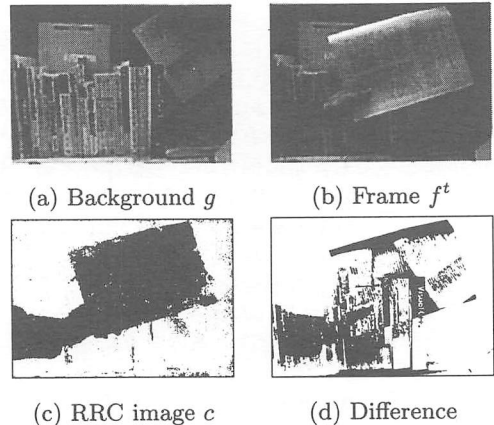
ロバストなイベント検出法である RRF について要約する。背景画像を  $g$ 、時系列内の  $t$  時刻の観測画像を  $f^t$  とする。ここでは、最近 8 近傍画素方向に沿って 8 本の可変長の放射状リーチ  $r_k$  ( $k = 0, 1, \dots, 7$ ) を定義し、リーチ先端の画素の明度値と中心画素の明度値の差があるしきい値 ( $T_p$ ) 以上となるまで延長され、さらにその位置において、増分符号 [2] と呼ばれる明度差の大小を正負の極性符号の一致度合いを評価し、その画素近傍における背景と観測画像との類似度を定義する。すなわち、任意画素の位置  $p$  における  $k$  方向の放射リーチを  $r_k$  とするとき、 $g(p+r_k) \geq g(p)$  のとき増分符号  $b_k(p) = 1$ 、そうでなければ  $b_k(p) = -1$  とし、 $p$  近傍に 8 個の増分符号  $b_k(p)$  ( $k = 0, 1, \dots, 7$ ) が算出される。観測画像  $f^t$  の同位置近傍においても同様に、 $b'_k(p)$  ( $k = 0, 1, \dots, 7$ ) が得られる。これらの 8 個ずつの符号列の類似度を一致率  $B(p) = \sum_{k=0}^7 b_k(p)b'_k(p)$  ( $-8 \square B(p) \square 8$ ) で評価することができ、これを放射リーチ相関 (以下、RRC) と呼ぶ [1]。

次に、あるしきい値 ( $T_B$ ) 未満の RRC をもつ画素を選んで、2 値の RRC 画像  $c$  を作成する。すなわち、 $B(p) < T_B$  であれば、 $c(p) = 1$ 、それ以外では、 $c(p) = 0$  とする。図 1 に RRC 画像の一例を示す。単純差分処理 (しきい値: 55) と比べて、RRC 画像では影の部分などの影響にもかかわらず、イベント (書類と腕) をよく捉えていることがわかる。ただし、イベントは連結領域とはなっていないので、何らかの融合処理を必要であるが、文献 [1] により Gauss 基底関数との畳み込みを用いている。

## 3. リーチ探索によるイベント追跡

## 3.1 変位ベクトルの算出

提案する手法は、イベント検出のために算出したリーチ群をそのまま利用するため、高速性やロバスト性の確保にとって効果的である。RRF 画像列における継続するフレーム (観測画像) における検出イベントに対応する領域を、 $v^t, v^{t+1}$  とし、運動に基づいて変形しながら変位ベクトル  $\Delta$  によって移動しているものとする。 $v^t$  内の画素に対して、同様なリーチ形状

図 1: RRC 画像の例 ( $T_p = 7, T_B = 4$ )

を持つ画素を  $v^{t+1}$  において探索することによって画素ごと推定変位ベクトル  $\delta$  を求め、その推定値から領域全体、或いは部分領域全体の変位ベクトル  $\Delta$  を推定する。時刻  $t$  で検出されたイベント領域  $v^t$  に含まれる位置  $p$  において、その各放射リーチを  $r_k^t(p)$  ( $k = 1, 2, \dots, 7$ ) とし、さらに  $t+1$  時刻で位置  $p$  から  $\delta$  並進移動した位置にあり、かつ  $v^{t+1}$  に含まれる画素における各放射リーチを  $r_k^{t+1}(p+\delta)$  と表わす。 $v^t$  の位置  $p$  と、それに対応する  $v^{t+1}$  の位置でのリーチ形状は、情景内に明度変化が生じたとしてもその形成に影響しない限り保存され、各リーチ長の分布は同様となることが期待できる。このことから、 $r_k^t(p)$  と  $r_k^{t+1}(p+\delta)$  の各放射リーチの残差絶対和が最小になる  $\delta$  を位置  $p$  における変位ベクトルと推定し、以下のように表わす。

$$\delta(p) = \min\{\delta \mid \sum_{k=0}^7 |r_k^{t+1}(p+\delta) - r_k^t(p)|\} \quad (1)$$

ただし、 $k = \{0, 1, \dots, 7\}$ 、 $p \in v^t$ 、 $p+\delta \in v^{t+1}$ 。

上式の  $\delta(p)$  は  $v^t$  に含まれるすべての画素において独立に算出され、これらの多くの推定値からその最頻値を代表値  $\Delta$  とする。また、推定変位ベクトル  $\Delta$  を並進移動したイベント領域  $v^{t'}(\Delta)$  と  $v^{t+1}$  との RRC を算出し、この値を評価して同一イベントか否かを判定する。

## 3.2 基本実験

図 2 に背景内に出現する物体の追跡例を示した。背景画像は  $320 \times 240$  ピクセル、256 階調の濃淡画像とした。(a) は背景画像、(b) は時刻  $t$  に背景にイベント領域が出現したと想定した画像である。(c) は時刻  $t+1$  画像と背景との RRC 画像に 2 次元 Gauss 基底関数 (平均値 0, 分散 2.89, しきい値  $T = 0.31$ ) に基づく領域連結処理を施した画像である。 $f^t, f^{t+1}$  とともに、しきい値は  $T_p = 10, T_B = 5$  とした。(d) に示した白枠部分は、推定変位ベクトル  $\Delta$  から算出されるイベント領域である。並進移動したイベント部分を画素単位の精度でうまく捉えていることがわかる。図 3 に、図 2(b) のイベント領域内の画素に

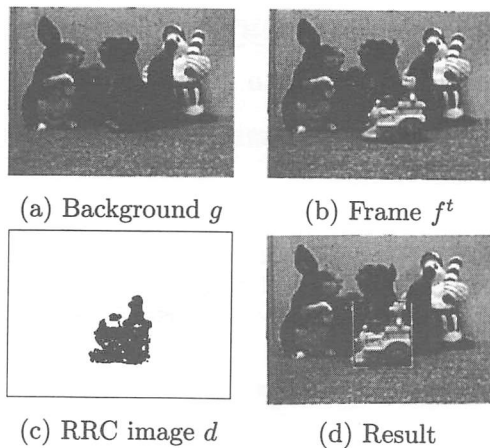


図 2: イベント追跡の例

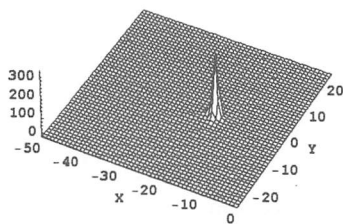
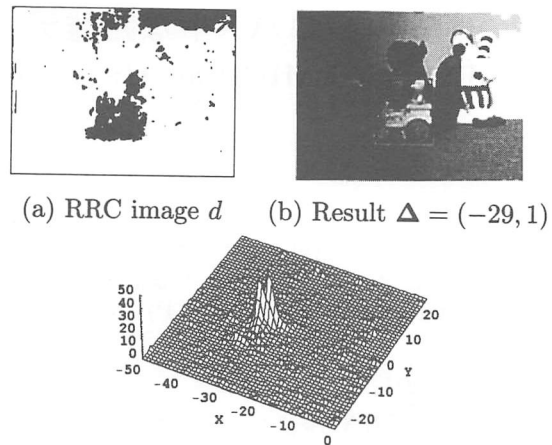


図 3:  $\delta$  の分布. 図 2(b).



(c) Distribution of  $\delta$  for Fig.(b).

図 4: イベント追跡の例 (局所的陰影)

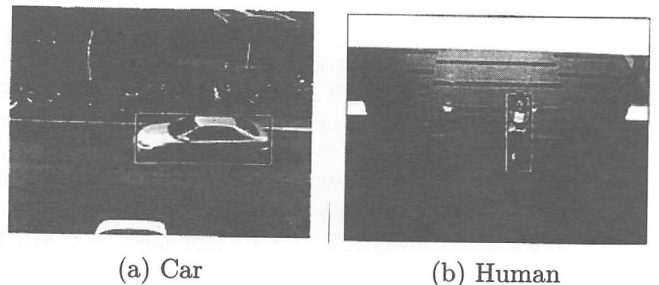


図 5: 実環境での追跡の例

おける最頻値付近  $50 \times 50$  の  $\delta$  の分布を示す. RRC 画像での  $c(p) = 1$  の画素は合計 3233 画素あり, そのうち最頻値を示した画素は 344 画素,  $3 \times 3$  画素領域では 936 画素であった.

### 3.3 高速化

高速化の処理を施さない場合の図 2 の実験画像における処理時間は, 画像作成後から全画素に対して領域連結の後処理を行った RRC 画像を生成するまでに約 0.52 秒を要し, 変位ベクトルを求める処理に約 4.63 秒要し (Pentium4 2.0GHz 搭載マシンによる計測), 実時間での実装を目指す為には高速化が必要である. そのために, 前フレームの変位ベクトル  $\Delta_{t-1}$  を利用し, 次フレームのリーチ探索の範囲の絞込みを行う. これは, フレーム間が極短いと仮定し  $\Delta_{t-1}$  から予想される到達点の周辺において, 設定したマージンの範囲で探索するものである. また, 各画素の変位ベクトル  $\delta$  の分布は図 3 のように, ピークは全  $c(p) = 1$  中の約 10% となり局所的なピークが得られる. このため, 設定したしきい値にピークが達した時点でリーチ探索を中断し効率化を行う. これにより, 予想する探索領域を  $7 \times 7$  とし, 処理の打ち切りのしきい値を  $c(p) = 1$  中 4% に達した時点で打ち切った場合,  $\Delta$  の算出に 0.079 秒となった.

### 4. 実験

屋内外での不良条件を想定し本手法のロバスト性を検証する. 図 4 は時刻  $t+1$  に明度変化, 遮蔽があることを想定した画像による実験で, 時刻  $t+1$  の領域連結処理後の RRC 画像と追跡結果とその変位ベクトルの分布を示す. なお, 背景画像と時刻  $t+1$  画像は一部図 2 に示したものをを用い, しきい値は全て同様である. いずれの場合においても, 図 2 と比べ  $\delta$  のピークは下がるものの, 変位ベクトルの算出に成功していることがわかる.

また, 本手法の応用例として実環境における追跡の例を図 5

を示す. (a) の屋外における車両追跡, (b) 屋内における人物追跡についても提案手法による追跡が有効な手段であり, 交通流解析等の応用分野においての適用の可能性を示している.

### 5. むすび

RRF によって検出された人物や車両などのイベントを安定に追跡するために,

- RRF において算出されるイベント領域における, 放射リーチパターン探索に基づくイベントの変位ベクトルを推定する手法,
- それに基づいてイベントを安定に追跡するための照合法とその高速化

を提案した. それらを用いた基礎実験, 実環境実験を行い, 提案手法の実利用の可能性を確認した.

### 参考文献

- [1] 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, vol.J86-D-II, no.5, pp.616-624, 2003.
- [2] 村瀬一朗, 金子俊一, 五十嵐悟: 増分符号相関によるロバスト画像照合, 電子情報通信学会論文誌, vol.83-D-II, no.5, pp.1323-1331, 2000.