

指数平滑法を用いた停止車両の検出

3F-9

高藤政雄 小沼知恵子 北村忠明

(株)日立製作所 日立研究所

1. はじめに

道路交通の円滑化や安全性向上のため、トンネル内や高速道路における事故や停止車両の検知、さらには交差点付近の違法駐車車両の検知などが重要な課題となっており、いくつかのシステム^{1) 2)}が報告されている。山本等は入力画像の積分により停止車両を検出しており¹⁾、柘植等は車両の急激な速度変化を検知することにより突発事象を検出している²⁾。本報告で述べる方式は上記¹⁾の方式と同様に画像の積分処理による方式であるが、入力画像を直接積分するのではなく、背景画像との差分画像を累積するもので、累積には、指数平滑法と2値画像累積を用いている。

本報告では、市販の画像処理装置で指数平滑法を用いる場合の問題点と、その一解決方法について述べる。

2. 切り捨て処理による指数平滑法の分析

停止車両を検出するため、移動物体の情報を薄め、停止車両の情報を強調する一手法として指数平滑法を採用する。指数平滑法は式(1)で示される。

$$f(t) = \alpha \cdot s(t) + (1 - \alpha) \cdot f(t-1) \quad (1)$$

ここで、 $f(t)$ は濃淡累積画像、 $s(t)$ は差分画像、 t は時刻、 α は指数平滑化係数 ($0 < \alpha < 1$) を表す。

さて、ここで、時刻 $t-n+1$ で検知対象物体（停止車両）が出現し、現時刻 t までずっと静止して存在すると仮定すると、初期累積画像は 0 ($f(t-n)=0$)、検知対象物体を含む差分画像は常に等しい ($s(t)=s(t-1)=\dots=s(t-n+1)$) ので、累積画像 $f(t)$ 中の検知対象物体の濃度値が差分画像 $s(t)$ 中の検知対象物体の濃度値のある割合 $x = \{f(t)/s(t)\}$ を越す理論上の累積回数 n は係数 α に依存し、式(2)を満たす最小の正の整数である。

$$n \geq \ln(1-x)/\ln(1-\alpha) \quad (2)$$

しかし、現実には市販の画像処理装置で高速に処理するため、式(1)の演算を画像メモリでとりうる $-128 \sim 127$ の範囲で固定小数点演算で行っている。そのため、小数点以下の切り捨てが発生する。また、

係数 α は高速化のため $k/128$ (k は $1 \leq k \leq 127$ の整数値) の値を用いており、厳密には 0.1 等の値は取れない。すなわち、対象画像の各画素に対して式(3)を実行している。

$$f(t) = (k/128) \cdot s(t) + (1 - k/128) \cdot f(t-1) \quad (3)$$

$$= f(t-1) + \{s(t) - f(t-1)\} \cdot k/128 \quad (3')$$

以上述べたように、理論上は平滑化の累積回数を増やしていけば、差分画像の濃度値に限りなく近づくはずであるが、実際には切り捨て誤差のため上限値が存在することになる。

累積処理の結果、累積濃度値が濃度上限値に達するのは、式(3)において $f(t) = f(t-1)$ 、すなわち、丸め誤差（切り捨て誤差）を考慮すると、式(3)において右辺の $[\]$ 内が 1 未満になる場合である。よって、この条件から式(4)が求まる。

$$f(t) = f(t-1) > s(t) - 128/k \quad (4)$$

また、式(3)において、初期累積画像は 0 であるので、第1項が 0 の場合は累積画像 $f(t)$ は常に 0 となる。よって、累積画像が意味を持つためには第1項が 1 以上である必要がある。すなわち

$$(k/128) \cdot s(t) \geq 1 \quad (5)$$

さらに、濃度上限値 $f(t)$ に達するのに要する累積回数 n は、式(2)、(4)から

$$n > \ln\{128/[k \cdot s(t)]\} / \ln(1 - k/128) \quad (6)$$

となるが、この n が 1 以上になるためには、 $1 \leq k \leq 127$ のとき式(5)が成り立つことが必要となる。

さらにまた、式(6)の右辺の k について2階微分係数を求めると、 k の値のほぼ全域で負になる。このことから、累積回数 n は同一の差分濃度値においては上に凸になり、ある係数 k で最大値をとることが分かる。

3. 停止車両検出のパラメータ

停止車両検出において必要となる主なパラメータは以下の通りである。

(1) 指数平滑化係数 α

式(1)から「係数 α が大きいと最終入力画像の累積画像への影響が大きく、停止車両の誤検出が発生する恐れがある」こと、式(5)から「係数 k (すなわち α) が小さいと背景との差が小さい停止車両は検出できない」ことが分かる。そこで、今回の実験では係数 α を 0.1 ($k=13$) とした。

(2) 指数平滑化累積回数 n

差分画像の濃度分布を調べると、日影、日向の存在する場所において、白い車両、黒い車両を含む画像の濃度分布はほぼ±60の範囲になっている。そのため、上記(1)から、累積画像に±6程度のノイズが含まれる可能性がある。よって、検知対象物の累積濃度値は7以上でなければならない。これを満足する指数平滑化処理の累積回数を求めると7回となる。停止車両が別の車両等によって時々隠れることを考慮して累積回数を10回とした。

(3) 入力画像取り込み時間間隔 Δt

取り込み時間間隔が短いと前回の入力画像と今回の入力画像間で移動物体の重なり部分が多くなり、累積結果に影響を与える。また、取り込み間隔を長くし過ぎると累積画像を得るに多くの時間を要することになる。今回の実験では400msとした。

(4) 停止車両判定基準時間 Ta

この時間はどの程度放置された物体を検知する必要があるかで決まり、ユーザの仕様に依存する。今回の実験では60sとした。

(5) 停止車両判定しきい値 THy

停止車両判定しきい値 THy は停止車両を抽出するためのしきい値で、後述の理由から今回は15とした。

4. 指数平滑法による停止車両検出の問題点と対策

(1) 停止車両判定基準時間を60s、入力画像取り込み時間間隔を400msとすると、指数平滑化処理だけで検知対象物を抽出しようとすると、累積必要回数は150回となる。一方、係数αが0.1の時、指数平滑化の有効累積回数は画像メモリを-128~127の範囲で使用すると30以下となる。すなわち、判定のタイミングを基準にして、12s以上前から停止している車両は60s停止していなくても停止車両と判定してしまうことになる。よって、単に指数平滑化処理のみでは上記停止車両判定時間を越える停止車両を正しく検知することはできない。

そこで、指数平滑法と2値画像累積を組合せる方式を提案する。すなわち、3章(2)、(3)から400ms×10=4s毎に累積濃淡画像を2値化し、その2値画像を累積し、この2値画像累積回数が60s/4s=15回を越えた時点で停止車両と判定する。

本方式の処理概要を図1に示す。本方式により、停止車両を正しく検出できることをVTR画像を用いて確認した。

(2) 指数平滑化処理を切り捨て処理で行うと累積濃度上限値がかなり低くなる。ノイズに強くするため

にも累積濃度上限値をできるだけ高くする必要がある。

これを改善する方法として、四捨五入処理による指数平滑化処理が考えられる。四捨五入処理では上で述べた切り捨て処理における(4)に対応する式(7)が得られる。

$$f(t) = f(t-1) + s(t) - 64/k \quad (7)$$

式(4)及び(7)から、「四捨五入処理による累積濃度上限値の元の差分濃度値からの離れ具合は、切り捨て処理によるその約半分になり、対象物体の抽出が容易になる」と言うことができる。

5. むすび

指数平滑法の分析により指数平滑法による停止車両検出の問題点とその解決策を示した。今後の課題としては照明変動、影等の環境変化への対応が上げられる。最後に、本研究内容について有意義な議論をいただいた九州工業大学工学部加藤清史教授、石川聖二助教授、玉木明和講師、日立システムソフト(株)野末大作氏、内構孝治氏および当所諸岡泰男博士に謝意を表す。

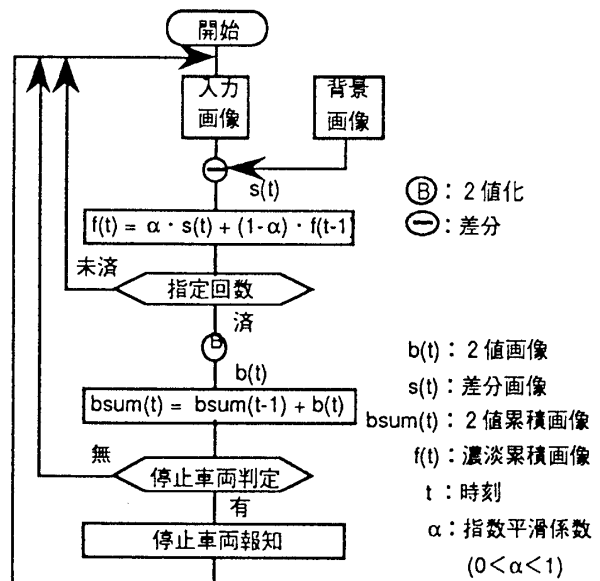


図1 停止車両検出方式の処理概要

参考文献

1) 山本裕嗣他：画像処理技術によるトンネル内交通流監視支援システム、RTA-92-12、pp.51-58、電気学会(1992)
 2) 柘植章英他：画像処理技術による事象の自動検出システム、第9回産業における画像センシング技術シンポジウム、pp.33-38(1994)