

文章编号: 1672-8785(2015)01-0035-05

基于ÁTrous 算法的红外序列图像中运动目标的检测与跟踪

徐永兵

(华中科技大学计算机学院, 湖北武汉 430074)

摘 要: 主要研究了红外图像中运动点目标的检测及跟踪问题。在复杂背景下, 根据小目标在红外影像中容易丢失的特性, 利用 ÁTrous 小波变换对图像非抽取 (变换后图像数据未损失) 的优点对红外图像进行了背景抑制与增强。通过聚类分割算法分割出了可疑目标, 并采用八邻域分析算法准确跟踪并提取出了运动小目标。试验结果表明, 本文算法在对红外序列图像中的运动目标进行检测与跟踪时具有较强的实用价值。

关键词: ÁTrous 小波变换; 图像分割; 红外运动目标; 八邻域分析; 目标检测和跟踪

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2015.01.007

Moving Target Detection and Tracking in IR Image Sequences Based on ÁTrous Algorithm

XU Yong-bing

(College of Computer Sci. & Tech., HUST, Wuhan 430074, China)

Abstract: The detection and tracking of moving point targets in infrared images are studied mainly. Background suppression and enhancement are carried out for the infrared images with complex background. These processing are implemented by utilizing the advantages of ÁTrous wavelet transform according to the feature that small targets are easy to be lose in infrared images. The possible targets are segmented by using a Fisher algorithm. Then, the small moving targets are tracked and extracted accurately by using an Eight Neighboring Region Analysis Algorithm (ENRAA). The experimental result shows that the proposed algorithm is of important practical value to the detection and tracking of moving targets in infrared image sequences.

Key words: ÁTrous wavelet transform; target enhancement; image segmentation; moving infrared target; eight neighboring region analysis; target detection and tracking

0 引言

在海、空等复杂背景下, 红外成像检测系统需要快速、有效地发现和跟踪远距离的运动目标。该系统所能检测到的目标在成像系统中一般呈现为点状或斑点状, 导致成像系统所发现

的目标没有明显的细节特征。目前, 在对目标与背景进行分离时, 基于知识系统和模板匹配以及基于目标与背景的灰度特征差异的方法都不能很好地对超远距离上的弱小目标进行检测和跟踪。

本文针对复杂海-空、空-空背景下弱小

收稿日期: 2014-11-24

作者简介: 徐永兵 (1967-), 男, 湖南常德人, 博士, 主要从事计算机图像处理方面的研究。

E-mail: xybing@hust.edu.cn

目标与背景在红外图像中存在灰度差异的特点, 基于 Átrous 小波变换对原始图像进行无抽取的小波变换处理; 然后利用统计学中的聚类分割算法对预处理后的图像进行二值分割, 并提取出红外图像中的所有可能目标; 最后, 采取八邻域分析思想得到一种可对所有可能目标进行检测与跟踪的算法。理论和实验结果表明, 通过本文算法可以简单、高效地发现和跟踪红外序列图像中的运动目标, 因此具有一定的实用价值。

1 Átrous 小波变换

Átrous 小波是一种非正交小波^[1-2]。在图像处理领域, 人们通常使用正交小波^[3-6], 有时甚至使用兼具正交性、对称性、紧支性等特性的多小波^[7]。目前, 小波已广泛应用于非静态信号分析和处理, 其中主要是利用小波的多分辨率特性, 即将图像分解成一系列具有不同分辨率特性的子图, 此时原始图像与具有不同分辨率特性的子图之间便会发生图像信息丢失现象。由正交小波特性可知, 正交小波变换过程是存在抽取和插值运算, 这会使得变换后得到的子图像的尺寸发生变化, 而且其变换并不具有平移不变性。这对于小(或点)目标图像处理等相关应用是一大不足之处。由 Holschneider 等人提出的 Átrous 算法采用有限滤波器内插近似, 实现了无抽取的离散小波变换, 并使算法具备了平移不变性^[5]。

Átrous 小波算法的思想是把信号或图像分解成不同频率通道上的近似信号和每一尺度下的细节信号; 细节信号亦可称为小波平面, 通过

小波变换所得信号的数据尺寸大小与变换前的原始信号相同。在使用 Átrous 小波对图像数据进行处理时, 我们用 $f(x, y)$ 表示图像数据; $\varphi_0(x, y)$ 为小波的尺度函数, 则可定义:

$$C_0[m, n] = \langle f(x, y), \varphi_0(x-m, y-n) \rangle, (m, n \in Z) \quad (1)$$

式中, $\langle \cdot \rangle$ 表示卷积运算。将 $C_0[m, n]$ 作为初始输入信号, 经过第一次滤波后得到 $C_1[m, n]$, 则 $W_1[m, n] = C_0[m, n] - C_1[m, n]$ 包含了初始输入信号与输出信号之间的信息。将 $W_1[m, n]$ 称为第一小波面, 而将 $C_1[m, n]$ 称为第一尺度下的逼近图像。第 j 尺度下的逼近图像一般为

$$C_j[m, n] = \langle f(x, y), \varphi_j(x-m, y-n) \rangle \quad (2)$$

式中, $\varphi_j(x, y) = \frac{1}{4^j} \varphi_0(\frac{x}{2^j}, \frac{y}{2^j})$ 。记 $W_j[m, n] = C_{j-1}[m, n] - C_j[m, n]$, 则 $W_j[m, n]$ 包含了相邻尺度逼近信号之间的信息, 称为 j 尺度下的小波面。

显然, 若 $C_N[m, n]$ 为最大尺度下的逼近信号, 则 $C_0[m, n] = C_N[m, n] + \sum_{i=1}^N W_i[m, n]$, 即为 Átrous 小波变换的回复算法。图 1 所示为一帧红外图像经 Átrous 小波变换前后的对比情况。

图 1 中, 左图为原始图像, 中图为经 Átrous 小波变换后的低频信号子图, 右图为经 Átrous 小波变换后的高频信号子图。可以看出, 经 Átrous 小波变换后得到的图像尺寸没有改变, 验证了我们前面叙述的 Átrous 小波变换具有非抽取的特点。

2 利用统计学聚类算法分割出所有的可能目标

本节讨论运用数学统计学中的聚类知识就

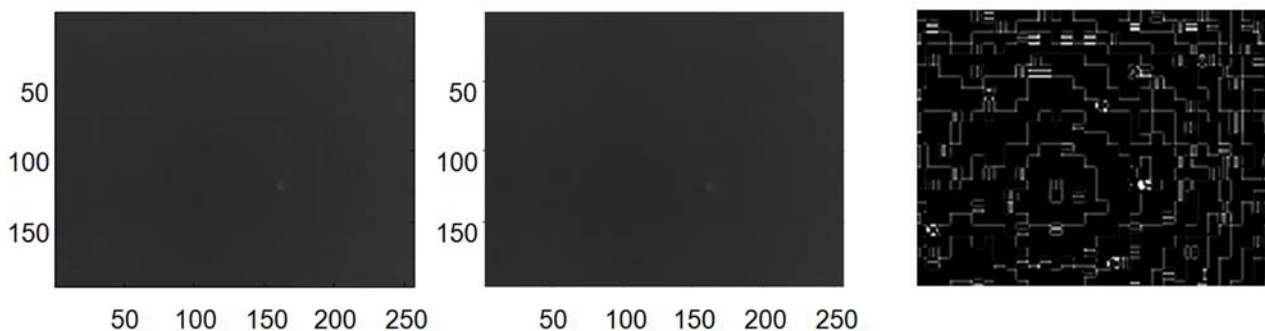


图 1 一帧原始图像经过 Átrous 小波变换后得到的低、高频图像

图像不同灰度值的归类问题对经 Átrous 小波变换及图像二值化处理后的数据进行处理^[8]。由聚类准则可知, 若图像中的像素与类中的某一像素的距离小于某一近似距离, 则将该像素归为此类; 而将像素点数目最多的类归为可疑目标类。通过该目标类在图像中所处的位置即可求得所有可疑目标的大致位置。本文提出的图像分割方法正是基于此思想实施的。

假定图像数据中的有序样品依次为 $x_1, x_2, \dots, x_n$ (其中每个样品均为 m 维向量), 基于聚类算法的二值图像分割方法如下:

(1) 确定各分类的直径大小

假定某分类 G_{ij} 为 $\{x_i, x_{i+1}, \dots, x_j\}, j > i$, 其均值为 $\bar{x}_{ij}$, 那么

$$\bar{x}_{ij} = \frac{1}{j-i+1} \sum_{l=i}^j x_l \quad (3)$$

G_{ij} 的直径可用 $D(i, j)$ 表示:

$$D(i, j) = \sum_{l=i}^j (x_l - \bar{x}_{ij})'(x_l - \bar{x}_{ij}) \quad (4)$$

当每一有序样品为一维向量时, 则可用式

(5) 计算直径:

$$D(i, j) = \sum_{l=i}^j |x_l - \bar{x}_{ij}| \quad (5)$$

式中, $\bar{x}_{ij}$ 为 $\{x_i, x_{i+1}, \dots, x_j\}$ 的中位数。

(2) 定义目标函数

将 n 个样本分成 k 类, 并设某一种分法: $P(n, k) : \{i_1, i_1+1, \dots, i_2-1\}, i_2, i_2+1, \dots, i_3-1\}, \dots, \{i_k, \dots, n\}$, 其中分点 $1=i_1 < i_2 < \dots < i_k \leq i_{k+1} = n$ 。此时则可将该分类的目标函数的形式定义为

$$e[P(n, k)] = \sum_{j=1}^k D(i_j, i_{j+1}-1) \quad (6)$$

如果 n 值和 k 值固定, $e[P(n, k)]$ 值则越小, 此时即可确定该分类是合理的。

(3) 求目标函数最优解的算法思想

由上述目标函数公式容易证明并可得到:

$$e[P(n, 2)] = \min_{2 \leq j \leq n} \{D(1, j-1) + D(j, n)\} \quad (7)$$

$$e[P(n, k)] = \min_{k \leq j \leq n} \{e[P(j-1, k-1)] + D(j, n)\} \quad (8)$$

若需要分成 k 类, 则首先确定 j_k 并使式 (8) 达到极小值, 即可有

$$e[P(n, k)] = e[P(j_k-1, k-1)] + D(j_k, n) \quad (9)$$

同时可得到类 $G_k = \{j_k, j_k+1, \dots, n\}$, 然后确定 j_{k-1} 的值并使其满足 $e[P(j_k-1, k-1)] = e[P(j_{k-1}-1, k-2)] + D(j_{k-1}, j_{k-1}-1)$, 则可得到类 $G_{k-1} = \{j_{k-1}, \dots, j_k-1\}$ 的最优解。同理, 可得到其他子类 $\{G_1, G_2, \dots, G_k\}$ 的最优解。

(4) 基于聚类算法的灰度图像自动阈值分割算法

设 $f(x, y)$ 为经 Átrous 小波变换后得到的高频信息图像, 即待分割的灰度图像 (参见图 1 右图)。算法描述如下: 设图像的灰度范围为 $\{0, 1, 2, \dots, L-1\}$, 对高频信息图像进行灰度直方图归一化处理, 由 $p_i = n_i/N$ 可计算出待处理灰度图像各灰度级别的概率分布。其中, n_i 为待分割高频图像中任意灰度值 i 的像素数, N 为待分割高频图像的总像素数。然后选取各级灰度像素的阈值 $t_i \in T = \{t_0, t_1, \dots, t_c\}$ (其中 $t_0 = 0, t_c = L$) 及其对应图像像素的一个类 C_i , 随后即可得到 $\forall f(x, y) \in C_i, t_i \leq f(x, y)$ 的灰度 $\leq t_{i+1}-1$; 因而, C_i 对应 $\{0, 1, \dots, L-1\}$ 的阈值可划分为 $\{t_i, t_i+1, \dots, t_{i+1}-1\}$, 其与 $\{p_0, p_1, \dots, p_{L-1}\}$ 相对应的一个划分即为 $\{p_{t_i}, p_{t_i+1}, \dots, p_{t_{i+1}-1}\}$ 。在以上思路中, 这样确定阈值集合 T 的算法思想称为确定有序样品 $p_0, p_1, \dots, p_{L-1}$ 的聚类处理过程。其中, C 为分类数。按照此分类数的聚类操作, 可求出其他各图像灰度分类直方图的阈值集 $T(i)$ 。

从图 2 中可以看出, 经 Átrous 小波变换后, 通过聚类算法分割的二值图像中存在非常多的可疑目标。那么, 在后续的目标跟踪过程中, 我们必须借助连续多帧红外图像的相关信息来跟踪分割后二值图像中各个小 (点) 目标的运动轨迹。同时, 通过此思路可剔除掉那些在后续帧图像中找不到相应目标运动轨迹的可疑目标点。我们采取的方法为下面介绍的八邻域分析算法。



图 2 一帧红外图像经Átrous 小波变换处理后通过聚类算法分割得到的二值图像

3 利用八邻域分析算法思想对运动目标进行检测和跟踪

我们使用 fisher 分割算法对经红外背景抑制后的图像进行分割处理。在目标的二值图像中可看到所有可疑的运动目标,如图 2 所示。然后,我们用八邻域分析算法对分割后得到的序列二值图像进行分析,可得到所有可能目标的运动轨迹。算法思路如下:当那些在序列图像中具有同样尺寸范围(只是参考参数)的运动目标不能在后面连续几帧中与其对应的 8 个邻域方向上出现的时候(同时考虑到序列图像中某一帧目标产生丢失的情况),我们就可以判定该目标为虚假运动目标。图 3 为八邻域示意图。

图 3 中,中心点周围 8 个方向上的相邻区域即为八邻域。设定目标的大小和判定目标运动轨迹的检测帧数 N (实验中 N 的取值范围为 5 ~

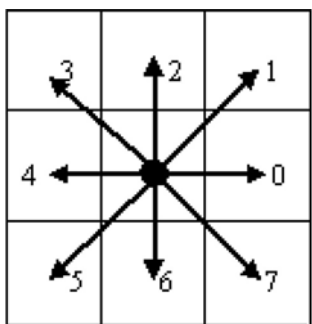


图 3 八邻域示意图

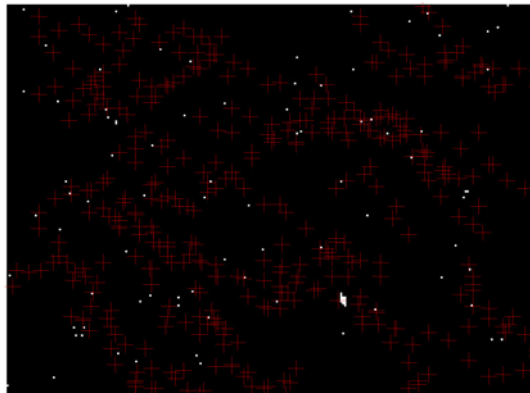


图 4 用八邻域算法进行处理与跟踪的示意图

10), 然后提取二值化的初始帧图像; 计算该帧中每一目标的质心; 然后在后面连续 N 帧图像中, 以该可疑目标质心位置的相邻 8 个邻域方向上是否出现同样大小的目标作为判定目标运动轨迹的条件。当遍历完初始帧二值化图像中要查找的所有可疑目标(如图 4 所示)后, 我们可以看出连续图像中多个可疑目标的可能运动轨迹。在实现八邻域分析算法时, 需要关注以下几个问题:

(1) 首先我们设置八邻域的尺寸大小。根据目标远近(若跟踪目标为图 2 中的点目标), 可估算出目标在成像系统中的成像大小, 并据此来设定八邻域尺寸。目标点邻域的边长大小一般取 3 ~ 9; 通常可根据目标尺寸对邻域范围进行动态调整。斑点目标则可选取更大尺寸的邻域范围。

(2) 设定用于判定目标是否出现的阈值。一般在连续几帧红外图像中出现运动目标的轨迹时, 即可判定在红外图像中一定存在需要跟踪的目标。在实验中, 我们若发现连续 N 帧二值化图像中存在某一可疑运动目标的八邻域方向上有连续运动目标, 则可判定该可疑目标为运动目标。我们设定 N 值为连续 6 ~ 10 帧, 并将此作为程序判定目标是否出现的条件。

(3) 考虑到某帧中红外目标消失的情况, 本文算法扩大了邻域范围内的搜索, 比如将邻域范围扩至 5×5 或 7×7 。若找到可疑的运动目标, 则可继续对该目标的后续帧进行检测和跟踪, 否则就会剔除掉该目标。在跟踪过程中, 我们还要

考虑连续帧中目标的运动方向即运动速度方向等相关因素, 并综合考虑和判定目标的运动轨迹是否存在。试验结果表明, 小目标检测和跟踪效果较好。

4 试验结果

试验图像为天空背景下的飞行机动目标图像, 其大小为 200×260 ; 目标呈现为点状, 其亮度相对于背景较暗, 如图 1 左图所示。我们利用本文提出的目标跟踪与检测算法对连续 65 帧红外图像进行了跟踪检测, 并得到了图 5 所示的小目标运动轨迹图。本文算法都是利用 Matlab 编



图 5 对 65 帧连续红外图像中点目标的运动轨迹进行跟踪的结果图

(上接第 20 页)

5 结束语

本文介绍了一种既能对高温目标进行测温又能对其进行实时跟踪的红外高温目标自动追踪系统及其具体设计过程, 并充分利用了 DM6437 核心芯片的资源。其中, 针对 DM6437 芯片的视频处理子系统的应用大大提高了图像处理速度; 而通过线性汇编优化了程序运行效率, 并有效提高了整个系统的性能。该系统能够较好地实现红外图像显示, 并且能够精确地对高温目标进行实时、自动追踪, 可满足军民诸多领域的应用需求。

参考文献

程实现的。在未对算法进行任何优化的条件下, 我们实现了目标检测以及对运动目标轨迹的跟踪。试验结果表明, 本文算法具有较强的实用价值。

参考文献

- [1] Holschneider M, Kronland M R, Morlet J, et al. Wavelets Time Frequency Methods and Phase Space [M]. Berlin: Springer, 1989: 286–297.
- [2] Dutilleul P. Wavelets Time Frequency Methods and Phase Space [M]. Berlin: Springer, 1989: 298–304.
- [3] Daubechies I. Orthonormal Bases of Compactly Supported Wavelets [J]. *Communications on Pure and Applied Mathematics*, 1988, **41**: 909–996.
- [4] Meyer Y. Ondelettes, Fonction Splines, et Analyses Graduees [M]. Torino: Univ Torino, 1986.
- [5] Mallat S G. Multifrequency Channel Decompositions of Images and Wavelet Models [J]. *IEEE Trans Acoust, Speech, Signal Processing*, 1989, **37**: 2091–2110.
- [6] Daubechies I. Wavelets Time Frequency Methods and Phase Space [M]. Berlin: Springer, 1989: 38–66.
- [7] 徐永兵, 裴先登. 基于向量小波变换及 Fisher 分割的红外弱小目标检测 [J]. *红外技术*, 2004, **26**(1): 17–20.
- [8] 张尧庭, 方开泰. **多元统计分析引论** [M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [1] 魏伟波, 芮筱亭, 杨富锋, 等. 基于图像的目标自动跟踪系统 [J]. *计算机工程与应用*, 2007, **43**(27): 190–192.
- [2] 魏东. 基于 FPGA 与 DSP 的红外焦平面阵列非均匀性校正 [D]. 大连: 大连理工大学, 2006.
- [3] 徐世伟, 刘严严. 基于 FPGA 凝视型红外成像系统预处理算法的研究 [C]. 北京: 第九届全国光电技术学术交流, 2010.
- [4] 张魁. 基于数字散斑相关方法的间接拉伸应变场的研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.
- [5] 陈增境. 基于独立分量分析的图像处理及应用研究 [D]. 银川: 宁夏大学, 2010.
- [6] 吴彬. 基于红外图像处理技术的炉内工件表面温度监测方法的实现 [D]. 合肥: 安徽大学, 2008.
- [7] 牛英宇. 图像自适应分段线性拉伸算法的 FPGA 设计 [J]. *现代电子技术*, 2010, **33**(10): 78–80.