

基于相位一致性的输电线监控视频图像线特征提取

李 灏, 曹 亮

(甘孜电力公司, 四川 康定 626000)

摘 要:线特征是图像分析中视觉感知的重要线索,是复杂背景下从输电线监控视频图像中提取电力线的重要特征,其为后续输电线状态分析提供依据。文章应用相位一致性原理提取输电线监控视频图像的线特征,通过仿真同其他传统方法进行了对比。实验结果表明,该方法能有效地实现复杂背景下线特征的提取。

关键词:相位一致性;输电线监控;线特征;复杂背景

中图分类号:TP391

文献标识码:A

引 言

图像分析又称为图像理解,是用模式识别和人工智能方法对景物进行分析、描述、分类和解释。图像分析侧重于构造图像描述方法,用符号表示各种图像。图像分析技术针对具体对象,在军事、工业、检测、遥感等领域中应用广泛。电网在不断吸纳工业化、信息化成果的过程中,已成为工业化、信息化社会发展的基础和重要组成部分,各种先进技术在电网中的集成应用,极大地提升了电网系统功能。将图像分析技术应用到智能电网建设中,既是一种尝试,也可以拓展智能电网的研究思路。

目前我国电力系统主要通过人工巡线的方法对线路进行检查,很难对线路的实时状态进行分析。随着摄像头监控系统和 IT 技术的迅速发展,架空电力线路正逐渐采用无线监测系统实现对架空输电线路数据和运行状态的监测^[1]。与人工巡线的方式相比,无线监测系统具有明显优势:(1)节省大量的人力物力。无线系统可以实现远程监测,无需在严重覆冰区建立造价高、效果差的观测站;(2)可以随时抽测架空电力线路的各项运行参数,评估线路运行状态。线路在线监测和状态评估是架空输电的重要研究内容之一,也是智能电网重要组

成部分,研究输电线在线监测技术,是实现输电线路由计划检修向状态检修转变的关键。

在电力线路检测系统中,图像分析主要用于分析输电线路的弧垂、覆冰、线上异物等情况,其首要工作是从具有复杂背景的图像里面,提取出输电线图像。在图像分析中,线特征是视觉感知的重要线索,也是从输电线监控视频图像中提取电力线的重要特征,为后续分析电力线弧垂、覆冰、线上异物等情况提供依据。电力线特征提取的实质是边缘提取,边缘蕴含了方向、阶跃性质以及形状等内在信息,其对图像识别和计算分析十分重要。

在图像处理和图像分析中,边缘特性是一个很重要的概念,边缘特性是沿着边缘走向的像素变化缓慢,垂直于边缘的像素变化急剧。传统的线特征提取都是利用边缘检测算子,如 Sobel 算子、Prewitt 算子、Roberts 算子、Beamlet 算子、Log 算子等,直接进行边缘检测。还有一类间接提取方法,首先利用变换,如 Radon 变换、局部 Radon 变换等,对图像的线特征进行增强,然后进行边缘提取。

图像中的边缘特征,呈现为频率域最大相位一致性,相位一致性度量是一个规一化的、无量纲的量,与图像的亮度和对比度变化无关,具有不变性。相位一致性

收稿日期:2012-05-18

基金项目:人工智能四川省重点实验室项目(2010RY007);自贡市科技局重点项目(2011G04)

作者简介:李 灏(1971-),男,四川成都人,工程师,主要从事电力技术开发方面的研究,(E-mail)5876907@qq.com

原理被广泛应用于图像处理、识别及分析^[2-6]。本文基于相位一致性讨论输电线监控视频图像线特征提取及分析。

1 基于相位一致性的线特征提取方法

1.1 相位一致性

对于一维信号 $I(x)$, 将其用傅里叶级数展开:

$$I(x) = \sum_n A_n \cos(n\omega_0 + \varphi_n 0) = \sum_n A_n \cos(\varphi_n(x)) \quad (1)$$

其中 A_n 是第 n 次谐波余弦分量的幅值, ω_0 是为 2π 的常数, $\varphi_n 0$ 为第 n 次分量的初始相位或者是相位偏移量。 $\varphi_n(x)$ 为点 x 的傅里叶分量的局部相位。

Morrone 和 Owens 给相位一致性函数定义为:

$$PC(x) = \max_{\varphi(x) \in [0, 2\pi]} \frac{\sum_n A_n \cos(\overline{\varphi_n}(x) - \varphi(x))}{\sum_n A_n} \quad (2)$$

若某一点使得上式最大, 则 $\overline{\varphi}(X)$ 是位于该点的所有傅里叶项的局部相位加权平均值。频率分量的实际相位角与 $\overline{\varphi}(X)$ 之差的余弦值, 约等于 1 减去该差值平方的二分之一。因此, 只要找到相位一致性最大的点, 就找到了对应于局部相位加权平均变化最小的点。在上式中, 假设信号的边界在相位一致性值相对较大的地方出现, 可以发现 $PC(x)$ 的值, 即相位一致性值, 在 0 到 1 之间变化, 其中 1 表示检测到了非常显著的边界, 而 0 则表示完全没有检测到信息。

虽然利用相位一致性检测信号边缘可以取得很好的效果, 但是由于对信号频率分解的计算过程非常复杂, 导致其实时性比较差。为解决计算复杂问题, 引入简化的近似模型——局部能量(Local Energy)模型。信号中相位一致性最大的点可以等效为局部能量函数中的峰值。

Venkatash 和 Owens 指出了能量和相位一致性关系:

$$E(x) = PC(x) \sum_n A_n \quad (3)$$

由此可见, 局部能量函数中的局部顶点与相位一致性函数中局部顶点一致。其关系如图 1 所示。

从图 1 可以看出, 局部傅里叶分量由各复矢量首尾相连。令这些分量的矢量和在实轴上的投影为 $F(x)$, 在虚轴上的投影为 $H(x)$, 总矢量的幅值为 $E(x)$, 则可以得到:

$$E(x) = \sum_n A_n \cos(\overline{\varphi_n}(x) - \varphi(x)) \quad (4)$$

PC 为 $E(x)$ 与局部傅里叶分量的比值, 由此可以得

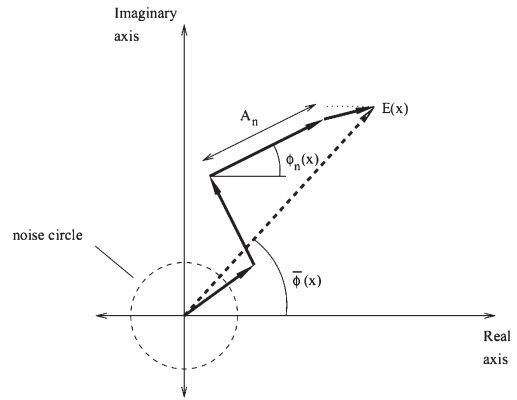


图 1 相位一致性原理几何示意图

出一个结论: 相位一致性与信号总幅值相互独立, 相位一致性不会受到图像亮度以及对对比度的影响。

最后经 Peter Kovesi 修正相位一致性函数后的结果为:

$$PC(x, \theta) = \frac{\sum_n W(x, \theta) \langle A_n(x, \theta) \Delta \phi_n(x, \theta) - T \rangle}{\sum_n W(x, \theta) + \varepsilon} \quad (5)$$

其中, $\Delta \phi_n(x, \theta) = \cos(\phi_n(x, \theta) - \overline{\phi}(x, \theta)) - |\sin(\phi_n(x, \theta) - \overline{\phi}(x, \theta))|$ 。

1.2 相位一致性的计算

1.2.1 一维信号相位一致性

直接计算相位一致性的度量是很困难, 且计算量大, 而相位一致性度量与信号的局部能量成正比。因此, 先计算信号的局部能量, 然后再得到信号的相位一致性度量。可以通过正交于不同空间频率的滤波器组, 进行卷积计算出局部频率信息。一个信号局部能量函数定义为:

$$E(x) = \sqrt{F^2(x) + H^2(x)} A \quad (6)$$

式中 $F(x) = \sum_n I(x) * M_n^e$, 为信号 $I(x)$ 与奇正交对数 Gabor 小波的卷积之和; $H(x) = \sum_n I(x) * M_n^o$, 为信号 $I(x)$ 与偶正交对数 Gabor 小波的卷积之和。其中, M_n^e 为第 n 个尺度上偶对数 Gabor 小波, M_n^o 为第 n 个尺度上奇对数 Gabor 小波。

利用下面公式可以计算出信号相位一致性度量:

$$PC(x) = \frac{|E(x) - T|}{\sum_n A_n + \varepsilon} \quad (7)$$

其中, $A_n = \sqrt{[I(x) * M_n^e]^2 + [I(x) * M_n^o]^2}$ 。

1.2.2 二维滤波器设计

可以考虑将一维对数 Gabor 滤波器扩展为二维滤波

器,其方法是通过用 $\cos^{2m}(\varphi - \varphi_0)$ 乘上一维对数 Gabor 滤波器,其中 φ_0 给出了滤波器的方向,而 m 则确定了滤波器的方向选择性。使滤波器组在整个频域上均匀分布,就可以检测到所有方向上的特征。通常情况下先确定滤波器的方向选择性,再确定所需方向,从而保证滤波器在整个频域上均匀分布。

方向选择性参数 m 的确定对滤波器的设计影响很大,该参数受多方面因素的影响,具体包括滤波器对图像有模糊作用、计算量、以及滤波器在不同方向上的特征相应。当 m 增大时,滤波器的方向选择性越好,能更好地抑制掉不同方向上一维特征的响应,但是,为保证滤波器在整个频域均匀分布,其所需要的方向数量也会增加,这在很大程度上会加大信号相位一致性的计算量,同时也会增加滤波器的空间尺度,导致滤波器对图像特征响应的空间分辨率降低,增加区分相邻特征的难度。试验中,经过多次测试发现,当 $m = 4$ 时,计算性能与测试效果达到最优。

与此同时,滤波器组的数量的 n_0 确定也很重要。对于给定数量的滤波器,各方向上的局部能量响应为各个滤波器响应之和。实验表明,当 $n_0 = 10$ 时,可以获得很好局部能量响应。

1.2.3 一维特征的相位一致性

首先计算二维信号每个方向上的方向能量,同时估计每个方向上的噪声能量,将各个方向上的方向能量联合起来,就得到了二维信号中一维特征的相位一致性。可以由公式

$$PC(x,y) = \frac{\sum_o (E_o(x,y) - T_o)}{\sum_o \sum_n A_{no}(x,y) + \varepsilon} \quad (8)$$

得到信号的一维特征相位一致性,其中 E_o 为 o 方向上的方向能量, T_o 为 o 方向上的噪声能量。

1.2.4 二维特征相位一致性

可以分三步将(8)式表示的一维特征相位一致性推广到二维特征:

(1)在不同的方向上用方向能量公式计算方向能量 E_o ;

(2)在正交的方向上再次利用方向能量公式得到二维方向能量 $E_o \perp (E_o)$;

(3)将各个方向上的方向能量联合起来得到特征的相位一致性。

二维特征的相位一致性可表示为:

$$PC(x,y) = \frac{\sum_o (E_o \perp E_o(x,y) - T_o \perp)}{\sum_o \sum_n A_{no \perp}(x,y) + \varepsilon} A \quad (9)$$

1.3 相位一致性计算流程

在前文分析的基础上,相位一致性的计算可分为5个步骤:

(1)对待检测特征的图像,利用奇、偶对数 Gabor 小波计算其在每个方向上的方向能量,得到每个方向上的方向能量 E_o ;

(2)对每个方向能量 E_o ,在其正交方向上再次利用奇、偶对数 Gabor 小波计算振幅响应,以及奇、偶滤波器的响应,从而得到了二维方向能量 $E_o \perp (E_o)$ 与振幅的响应 $\sum_o \sum_n A_{no \perp}$;

(3)估计最小尺度滤波器在各个方向能量上对噪声的响应,从而得到各个方向上总噪声能量;

(4)利用公式(8)计算每个象素点处的相位一致性;

(5)对得到的相位一致性图进行非最大抑制,得到特征集合。

2 实验结果及分析

本文对从甘孜州巴顺线5号塔上摄像头抓取的图像(384 * 528),如图2所示,分别进行相位一致性线特征检测、Canny 算子检测,以及 Log 算子检测仿真实验分析,实验结果如图3~5所示。



图2 原始图像

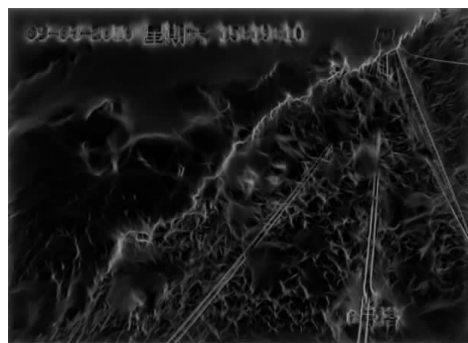


图3 相位一致性线特征仿真效果

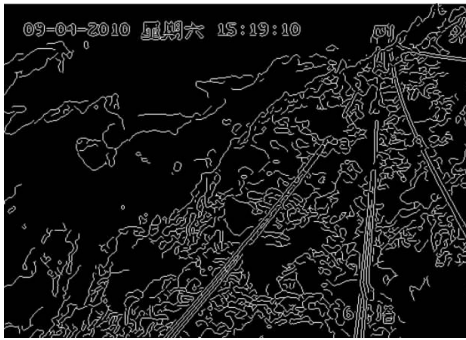


图 4 Canny 算子检测仿真效果

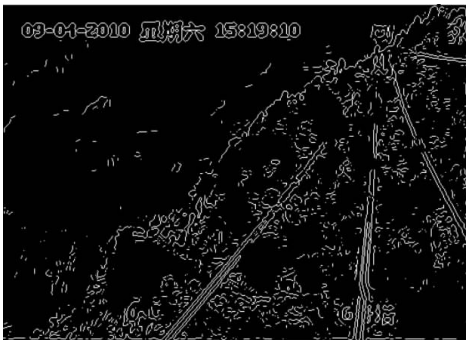


图 5 Log 算子检测仿真效果

从图 3~5 的仿真结果图可以看出,基于相位一致性线特征检测结果和一般的基于灰度提取的结果比较,其提取的线特征线条细腻且封闭性好,便于后续的机器识别和匹配,而且对于纹理比较复杂或者边缘线条监测结果,其灰度跳跃不大,特别是在马赫带的明暗过渡区域,

可以看到非常清晰而且唯一的两条视觉边缘。相反,用传统的基于灰度的边缘提取方法,其结果是漆黑一片,尤其是在马赫带的明暗过渡区域,其获得的两条视觉边缘也不够清晰。

因此,相较于一般的基于灰度的检测方法,基于相位一致性的线特征检测算法更符合人类视觉特征,具有更好的监测效果。

参 考 文 献:

- [1] 张 阳,干树川.输电线路实时参数运行检测研究[J]. 四川理工学院学报:自然科学版,2012,25(3):64-66.
- [2] 王恩东.一种基于相位一致性的虹膜识别方法[J]. 现代电子技术,2010(10):93-95.
- [3] 张 娟,卢振泰,冯前进,等.相位一致性和区域互信息量的医学图像配准[J].计算机工程与应用,2010,46(27):162-165.
- [4] 汪剑鸣,窦汝振,王中伟,等.相位一致性的理解及两种新的相位一致性模型[J].计算机应用研究,2010,27(5):1948-1951.
- [5] 罗海波,史泽林,陈永红.相位一致性图像及其在目标跟踪中的应用[J].光子学报,2010,39(3):547-551.
- [6] 韦春桃,张祖勋,张剑清,等.基于相位一致性的遥感影像电力线特征检测方法[J].测绘通报,2010(3):13-16.

Line Characteristics Extraction From Transmission Line Monitoring Video Images Based on Phase Congruency Principle

LI Hao, CAO Liang

(Ganzi Power Company, Kangding 626000, China)

Abstract: Line characteristics are important clues in the visual perception of image analysis, as well as the key characteristics using for extracting the power lines under the complex background from transmission line monitoring video images; it provides the basis for the following transmission line state analysis. In this article, the line characteristics are extracted based on the phase congruency principle, and are compared with other traditional method through the simulation. The experimental results indicate that this method can effectively realize the line characteristics extraction from complex background.

Key words: phase congruency; transmission line monitoring; line characteristic; complex background