

计算机视觉技术及其在电力系统自动化中的应用

龚 超, 罗 毅, 涂光瑜

(华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北省武汉市 430074)

摘要: 随着视频技术和红外成像技术在电力系统中的广泛应用, 图像信息在电力系统自动化中所起的作用越来越重要, 而且对图像信息分析与理解的要求也越来越高, 使得在一些应用场合必须利用计算机视觉技术由计算机替代监控人员进行图像理解。文中从计算机视觉的两个方面——图像识别和三维重建——介绍了计算机视觉技术的基本内容, 在已有的或设想的一些应用实例的基础上, 探讨了计算机视觉技术特别是图像识别技术在电力系统自动化中应用的必要性和应用前景。

关键词: 计算机视觉; 模式识别; 图像识别; 三维重建; 遥视

中图分类号: TN911.73; TP391.41

0 引言

目前, 多媒体技术已在电力系统中得到了广泛应用, 在信息的输入、输出、传输等方面正在改变电力系统以往的自动化模式, 其中又以各种与图像有关的技术应用最为广泛, 例如利用视频技术形成的工业电视系统和遥视系统、利用红外技术形成的红外成像系统等, 这些在本质上都属于图像获取系统。对获取而来的图像信息的理解主要还是依靠人的视觉系统, 包括人眼、视觉神经以及大脑中的相关部分等。由于人眼有主观性和易疲劳的弱点, 长时间观察视频图像会损害监控人员的视力, 甚至有时会忽略一些异常情况。其次, 人眼观察不能快速地将各个相关画面信息进行综合判断, 而电力系统又是一个信息、能量变化非常迅速的系统, 过渡过程往往在一瞬间完成, 一旦发生故障, 要尽量在短时间内消除, 否则很容易造成事故的扩大化。

如果能在保证电力系统安全的前提下, 将基于图像识别的计算机视觉技术运用到图像信息分析与理解中, 就可实现电力系统图像信息的智能处理。现阶段已有了这样一些应用实例, 例如火电厂煤粉锅炉火焰燃烧状态的识别、电力设备红外图像的简单识别等, 但总体上还处于一种零散的、初步的应用。

本文在概述计算机视觉技术的一般概念和主要组成部分的基础上, 较系统地探讨了计算机视觉技术在电力系统自动化中的各种应用。

1 计算机视觉技术的基本内容

计算机视觉技术是研究用计算机来模拟生物外显或宏观视觉功能的技术。计算机视觉又称为机器视觉、图像分析和理解^[1]。有人把视觉定义为“根据

获得的图像理解景物信息的处理过程”。一般说来, 这个处理过程是人的眼睛配合神经系统以及大脑来完成的, 而计算机视觉技术主要是利用计算机提供的手段和方法去完成这一信息处理过程。

计算机视觉技术正广泛地应用于各个方面, 从医学图像到遥控图像, 从工业检测到文件处理, 从毫微米技术到多媒体数据库, 不一而足。可以说, 需要人类视觉的场合几乎都需要计算机视觉。尤其是那些人类视觉无法感知的场合, 例如精确定量感知、危险场景感知、不可见物体感知等, 计算机视觉更突显其优越性。与计算机视觉相关的一些技术, 如视频技术、图像数据压缩与传输、数字图像处理、人工神经网络、虚拟现实技术、模糊数学、模式识别等已经在电力系统中得到应用, 并显示出良好的前景。

自从 20 世纪 80 年代初由学者 Marr 提出了第一个较为完善的计算机视觉理论框架——计算视觉理论框架^[1]以来, 计算机视觉在许多方面取得了巨大的成功。Marr 视觉理论认为视觉分为 3 个层次: 低层视觉、中层视觉和高层视觉(见图 1)。

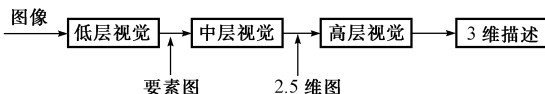


图 1 计算机视觉理论框架

Fig. 1 Theoretical frameworks of computer vision

低层视觉主要是对输入的原始图像进行处理, 其中运用了大量的图像处理技术和算法^[2], 例如图像滤波、图像增强、边缘检测等; 中层视觉主要是恢复场景的深度、表面法线方向、轮廓等有关场景的 2.5 维信息, 像立体视觉、测距成像、运动估计、明暗特征、纹理特征等所谓的从 X 恢复形状的估计方法, 都属于这个层次的内容; 高层视觉的任务是在以物体为中心的坐标系中, 在原始输入图像、图像基本

特征、2.5 维图的基础上,恢复物体的完整 3 维图,建立物体 3 维描述,识别 3 维物体,并确定物体的位置和方向^[1,3],即所谓 3 维重建。

由于 Marr 视觉理论要求的 3 维重建目标过高而难以实现,并且该理论把视觉看做一个自底向上和没有反馈的被动过程,不符合人的视觉过程,因此从 20 世纪 90 年代初开始,人们又建立了一系列新的计算机视觉理论。例如,根据人类视觉的主动性提出的主动视觉理论,即属于目的视觉理论的范畴^[1,3]。人类视觉不是被动的,人会根据视觉的需要移动身体或头部,以改变视角来帮助识别。对应到计算机视觉理论,主动视觉理论就是研究通过主动地控制摄像机位置、方向、焦距、缩放、光圈、聚散度等参数(或广义地说,通过视觉和行为的结合)来获得稳定、实时的感知。另外,还有人认为人类视觉的识别并不需要 3 维重建,视觉就是识别过程,是联想、解释和选择,提出了视觉与重建无关的观点。实际上,本文后面叙述的大部分应用都不需要 3 维重建,但是对于某些应用,例如判断物体尺寸大小、估计物体距离等问题,仅有识别是不够的,必须进行 3 维重建。同时,也不能完全将 3 维重建与图像识别孤立开来,它们在计算机视觉中是一个有机的整体,许多情况下识别中需要重建,而重建中包含识别。

如果以图像识别为重点,计算机视觉系统可以简化为如图 2 所示的模型。这个简化模型中间的 3 个部分与 Marr 视觉理论的 3 个层次基本重合,并且也是一个自低向上的串行处理过程。本文中的大部分应用实例都是基于这个模型的。

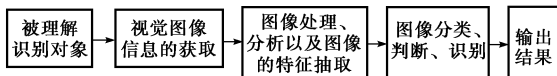


图 2 计算机视觉系统简化模型

Fig. 2 Summary model of computer vision system

在计算机视觉系统中,首先要解决的是视觉图像的获取问题。应用中最常见的视觉图像是利用 CCD 黑白或彩色摄像机摄取的物体灰度图像。另外,深度图(图中每个像素的值代表了场景中对应物体点与图像采集器的距离)、红外图像也是较为常见的视觉图像。

视觉图像经过采样和量化后输入计算机,就变成数字图像,其基本信息保存在一个 $m \times n$ 的数组中,要得到图像识别结果,就要对此数组进行处理与分析。这种图像处理称为数字图像处理,不同于以往的光学处理方法。

对获得的视觉图像进行一定的处理后,就可进行图像识别,这个环节通常也是计算机视觉系统的核心部分。图像识别主要是指依据输入的空域 2 维

图像信息 $f(x, y, t)$, 根据图像识别模型,进行相关的图像运算,分析并提取图像的识别特征,形成图像的特征参量,然后建立分类器,按图像特征对图像进行分类识别运算。图像识别的核心部分是图像识别分类器,它的作用主要是根据模式识别中的各种技术,例如统计模式识别、模糊模式识别、人工神经网络模式识别等,对输入的图像的特征参量进行一定的运算后,判断输出的图像是哪一类图像。可以说,图像识别就是模式识别在图像分类中的一个应用特例。其中,比较重要且比较容易实现的是利用统计模式识别来设计图像识别的分类方案,基本思想是用已知类别的图像样本来训练某个算法,然后得到所设计的分类方案,使得这个方案对原来已知类别的图像能正确分类,或者在某种意义和某个准则下,使得错误分类的可能性减到最小^[4]。

假设用矩阵 $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ 表示图像,规定向量 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 为列向量,因此,每一个图像可以看做 n 维空间中的向量,称此空间为图像的特征空间。

对于 m 类图像 $\Omega_i (1 \leq i \leq m)$ 的识别问题,判别函数是指一组定义在特征空间上的函数:

$$g_j(X) = g_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

其判别规则是:对于任意一个图像 X ,若

$$g_i(X) > g_j(X) \quad j \neq i; i, j = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

则判断 $X \in \Omega_i$ 。

若令 $\Phi_{ij}(X) = g_i(X) - g_j(X)$, 则 $\Phi_{ij}(X) = 0$ 是 n 维特征空间中的超曲面,称为判别边界。判别规则可以由 $\Phi_{ij}(X) > 0$ 或 $\Phi_{ij}(X) < 0$ 来确定,这里 $\Phi_{ij}(X)$ 为判别函数。

最简单的分类识别问题是 $m=2$ 的问题,其判别边界或判别函数为:

$$\Phi(X) = g_1(X) - g_2(X) \quad (3)$$

方程 $\Phi(X) = 0$ 定义了一个决策面,并把归类于 Ω_1 与 Ω_2 的图像分割开来。这个决策面便是超平面,它把特征空间分成 2 个半空间。判别规则如下:

$$\Phi(X) > 0, \text{决策: } X \in \Omega_1 \text{ 类}$$

$$\Phi(X) < 0, \text{决策: } X \in \Omega_2 \text{ 类}$$

$$\Phi(X) = 0, \text{决策: 拒绝分类}$$

由此可见,在这种分类决策下,图像识别的主要任务就是图像特征空间 X 的形成和判别函数 $\Phi(X)$ 的选取。

由于进行图像分析和识别的算法一般比较复杂,计算量很大,这就给计算机视觉技术在工程中的实时应用带来较大的困难。文献[5]给出了一个嵌入式实时图像识别系统,采用数字信号处理器(DSP)来组成专用的硬件以实现图像识别算法,可以取得较高的实时性。不过,硬件的专用性也导致了其应用

范围和功能扩展的限制。

2 计算机视觉技术在电力系统自动化中的应用

在电力系统中应用计算机视觉技术的首要任务是要方便地获取各种图像信息。文献[6]介绍了一种基于因特网传输方案的变电站遥视系统。文献[7]实现了一个比较完善的变电站遥视警戒系统,利用一体化球形摄像机进行大面积的监视,可以快速调出现场画面,并结合多种传感器信号与视频信号进行分析,以组成双重遥视警戒系统,而且可以依靠软件升级来满足新的需求,给计算机视觉技术的应用提供了很好的前提条件。

从电力系统中的一些实际工程问题来看,在图像信息可以反映问题本质的前提条件下,计算机视觉技术主要适用于以下一些场合:

- a. 监测设备难以引出电信号或为了减少连接电缆;
- b. 需要 24 h 全天候实时监视的重要设备和场所;
- c. 大范围、多自由度、可移动的监视;
- d. 人的视觉系统难以识别的图像(例如模糊图像、红外图像等)的分析。

现阶段计算机视觉技术在电力系统中比较现实的应用,应该是对现有的遥视系统软件功能的修改和增强,而基本的硬件设备除了为识别的需要可能增加一些摄像机和照明系统以外,基本上不需做大的改变,只需在遥视系统软件中加入图像识别模块,同时将图像识别的结果输出到控制系统,就可以达到一定的视觉智能化目的,也不需要追加很大的投资。值得注意的问题,一个是图像识别的实时性问题,这有赖于算法效率的提高和硬件功能的增强;另一个问题是由于图像种类很多,识别方法不尽相同,因而图像识别模块将具有相当的工作量和规模,这样在应用时需要规划好各种具体的图像识别功能,尽量做到通用性。

当然,由于图像识别的复杂性以及计算机视觉技术某些方面的不成熟,如果现阶段要在电力系统中、特别是在有关电力系统安全的监视中应用计算机视觉技术,应尽量使用简单、成熟的算法,针对的问题一般是那些要识别的状态数目有限、各个状态差别很大、很容易分类的问题。因此,目前在实际应用中还不可能完全没有人的视觉系统的参与,在许多应用中,计算机视觉可能仍处于一种辅助的地位。

下面从几个典型的方面探讨计算机视觉技术在电力系统自动化中的应用。

2.1 在线监测中的应用

随着电力系统的发展,电气设备正在从现行的计划检修向状态检修转变。在线状态监测是状态检修的基础,同时,现阶段的应用证明了电力设备的红外图像故障检测是进行在线监测较为成功的方法^[8],计算机视觉技术在这方面的应用主要就是应用于电力设备的红外图像识别。

由于物体的红外图像与物体的表面温度密切相关,因此,应用红外热像仪拍摄电力设备的红外图像进行图谱分析,是现阶段进行电力设备运行状态监测和故障诊断乃至对整个发电厂或变电站进行温度管理的最佳手段。例如,断路器触头接触不良造成局部过热、输电线路绝缘条件的恶化造成的局部过热、变压器少油造成的局部过热等,均可通过红外图像进行识别。此类红外图像识别问题的识别方法,主要是将电力设备实时的红外图像与其正常运行时的红外图像进行比较,一旦发生超过阈值的变化,就可认定它已发生故障,并可根据其红外图像来定位故障位置。这在识别图像变化方面并不困难。此外,若从电力设备的红外图像得到其温度分布,则可对其进行温度控制,例如火电厂炉墙和热力管道的热损耗检测与节能管理、保温材料的性能评价、联合循环电厂的漏热与温度管理、电厂排取冷却水的布局研究和热污染控制等,这些涉及到复杂的图像分析和模式识别问题,现阶段在实用上还有相当的难度。

2.2 在无人值班变电站或电厂环境监视中的应用

2.2.1 变电站中移动物体的自动识别报警

运用差分图像、光流法^[1]等方法进行移动物体运动估计,在无人值班变电站中可以辅助微波双鉴探测器来进行变电站周边防范,一旦有非法闯入者、动物窜入及其他移动物体进入,就会被识别出来并报警。文献[9]中给出了一个利用摄像机、图像处理器和微机组成的无人监视系统,可以用于实时检测非法入侵者,试验表明,在适当的识别灵敏度和一定的天气条件下可以达到较高的识别准确率。

2.2.2 现场产生烟雾、火苗、喷水、冒气等异常情况的识别报警

这些情况可以从在现场某个时刻前后拍摄到的图像数据变化中鉴别出来。不过,有些变化并非异常情况,是不应该报警的,例如早晚光线亮度的变化。可以采用某些算法来滤除这些有规律的变化,但突发性的闪电等难以预计而又不属于异常情况的变化则难以滤除,这就需要借助其他检测设备以及监视人员的判断。现在已有其他一些方法进行这些情况的鉴别报警,例如红外测温技术可以对火灾进行识别报警,可以用图像识别的方法对其进行辅助判断。

(未完,待续)

参考文献

- 1 贾云得(Jia Yunde). 机器视觉(Computer Vision). 北京:科学出版社(Beijing: Science Press), 2000
- 2 章毓晋(Zhang Yujin). 图像工程: 图像处理和分析(Image Engineering: Image Processing and Analyzing). 北京:清华大学出版社(Beijing: Tsinghua University Press), 1999
- 3 章毓晋(Zhang Yujin). 图像工程: 图像理解与计算机视觉(Image Engineering: Image Understanding and Computer Vision). 北京:清华大学出版社(Beijing: Tsinghua University Press), 2000
- 4 边肇祺, 张学工(Bian Zhaoqi, Zhang Xuegong). 模式识别(Pattern Recognition). 北京:清华大学出版社(Beijing: Tsinghua University Press), 2000
- 5 Sandeep Neema, Jason Scott, Ted Bapty. Real Time Reconfigurable Image Recognition System. In: Proceedings of the 18th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference. 2001. 350~355
- 6 Chan W L, So A T P, Lai L L. Internet Based Transmission Substation Monitoring. IEEE Trans on Power Systems, 1999,

14(1): 293~298

- 7 叶念国(Ye Nianguo). 遥视警戒技术的实践(Practice of Remote Vision Warning Technique). 电网技术(Power System Technology), 1999, 23(10): 50~55
- 8 陈衡(Cheng Heng). 红外热像仪在电力设备系统中的故障诊断应用概况(The Application for Infrared Imaging System in The Defects Diagnosis of Electric Power Equipments). 激光与红外(Laser and Infrared), 1994, 24(3): 8~11
- 9 Kazufumi Kaneda, Eihachiro Nakamae, Eiji Takahashi, et al. An Unmanned Watching System Using Video Cameras. IEEE Computer Applications in Power, 1990, 3(2): 20~24

龚超(1978—), 男, 硕士研究生, 研究方向为变电站图像监控. E-mail: gong-chao@263.net

罗毅(1966—), 男, 副教授, 研究方向为 EMS 和 DMS. E-mail: luoyee@public.wh.hb.cn

涂光瑜(1941—), 男, 教授, 博士生导师, 长期从事电力系统运行与控制研究. E-mail: gytu@public.wh.hb.cn

COMPUTER VISION TECHNIQUE AND ITS APPLICATION TO AUTOMATION OF POWER SYSTEMS

Gong Chao, Luo Yi, Tu Guangyu

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: With the widespread application of video frequency technique and infrared imaging technique to power systems, the role of image information in the automation of power systems is becoming increasingly important, and higher and higher requirements for image processing and understanding are made. So in certain cases of application, monitoring people have to be replaced by the computer to understand images with the computer vision technique. This paper describes the basic contents of computer vision technique concerning its two aspects, i. e. image recognition and 3-D reconstruction. Based on some existing and assumed application examples, it investigates the necessity and prospects for application of computer vision technique (especially image recognition technique) to the automation of power systems.

Key words: computer vision; pattern recognition; image recognition; 3D reconstruction; remote vision