

钱塘青年学者论丛

SHIJUE JISUAN YUANLI

视觉计算原理

● 周昌乐 编著

杭州大学出版社



责任编辑 蒋保纬

封面设计 刘依群

ISBN 7-81035-901-0



9 787810 359016 >

定价:12.00 元

钱塘青年学者论丛

SHIJUE JISUAN YUANLI

视觉计算原理

● 周昌乐 编著

杭州大学出版社

视觉计算原理

周昌乐 编著

*

杭州大学出版社出版发行

(杭州天目山路 34 号)

*

杭州大学出版社电脑排版部排版 余杭人民印刷厂印刷

850×1168 毫米 1/32 8 印张 204 千字

1996 年 8 月第 1 版 1996 年 8 月第 1 次印刷

印数:0001—1500

ISBN 7-81035-901-0/TP·036

定 价:12.00 元

前 言

计算机多媒体技术的迅速崛起,为计算视觉研究开拓了更为广阔的应用前景,从而使计算视觉的研究和发展变得越来越重要。在这种情况下,尽快编写出版一本介绍这一领域的有关理论技术和方法原理的书,是长期从事计算视觉教学和研究工作者应尽的一点责任。于是在我五年为研究生讲课的基础上,五易其稿,终于编写了本书。在这里,我要强调的是:面对计算视觉领域浩如烟海的文献资料和日新月异的学科发展,本书所讲述的内容难免挂一漏万,这一点敬请读者见谅。本书取名为“视觉计算原理”也正是此意:只针对视觉计算的主要原理,讲述其大略而已。但愿能为视觉计算的教学、科研乃至实际应用,起到一些有益的参考作用。

作 者

写于 1995 年元旦

* 书中部分内容为浙江省自然科学基金资助项目研究的成果,特此说明。

目 录

前 言

第一章 概 述	(1)
第二章 图形检测	(4)
§ 2.1 经典检测技术	(4)
§ 2.2 零交叉检测技术	(8)
§ 2.3 模式检测技术	(11)
§ 2.4 松弛检测技术	(13)
小 结	(16)
第三章 运动检测	(17)
§ 3.1 傅里叶检测技术	(18)
§ 3.2 差分检测技术	(21)
§ 3.3 时空梯度检测技术	(25)
§ 3.4 三维运动检测技术	(29)
小 结	(33)
第四章 空间检测	(35)
§ 4.1 明暗检测技术	(36)
§ 4.2 双目检测技术	(44)
§ 4.3 光流检测技术	(50)
§ 4.4 小波检测技术	(54)

小 结	(58)
第五章 分形检测	(59)
§ 5.1 理论分形维数计算.....	(59)
§ 5.2 分数布朗检测技术.....	(63)
§ 5.3 形态覆盖检测技术.....	(67)
§ 5.4 计盒维数检测技术.....	(69)
小 结	(71)
第六章 边线合成	(72)
§ 6.1 折线合成方法.....	(72)
§ 6.2 链码合成方法.....	(77)
§ 6.3 Hough 合成方法	(80)
§ 6.4 高级合成方法.....	(85)
§ 6.5 其它合成方法.....	(89)
小 结	(94)
第七章 区域生成	(95)
§ 7.1 骨架生成方法.....	(95)
§ 7.2 团点着色方法.....	(99)
§ 7.3 均匀谓词方法	(102)
§ 7.4 直方图统计方法	(104)
§ 7.5 分裂合并方法	(106)
小 结.....	(111)
第八章 纹理识别.....	(112)
§ 8.1 傅里叶统计方法	(113)
§ 8.2 共生矩阵方法	(115)

§ 8.3	文法识别方法	(120)
§ 8.4	形态模型方法	(124)
§ 8.5	自回归模型方法	(129)
小 结		(131)
第九章	表面恢复	(133)
§ 9.1	边界表面恢复	(133)
§ 9.2	球面表示方法	(136)
§ 9.3	广义锥表示方法	(138)
§ 9.4	体元表示方法	(141)
§ 9.5	分形表面拟合	(144)
小 结		(147)
第十章	景物匹配	(148)
§ 10.1	特征空间匹配方法	(148)
§ 10.2	结构文法匹配方法	(152)
§ 10.3	语义网图匹配方法	(159)
§ 10.4	标记松弛匹配方法	(166)
小 结		(172)
第十一章	含义推断	(173)
§ 11.1	演绎推理方法	(173)
§ 11.2	概率推理方法	(179)
§ 11.3	规则推理方法	(183)
§ 11.4	模糊推理方法	(186)
小 结		(192)

第十二章 知识习得.....	(193)
§ 12.1 归纳学习方法.....	(193)
§ 12.2 类比学习方法.....	(199)
§ 12.3 聚类学习方法.....	(203)
§ 12.4 联接学习方法.....	(206)
小 结.....	(215)
第十三章 目标规划.....	(216)
§ 13.1 基本规划方法.....	(216)
§ 13.2 不分层规划方法.....	(222)
§ 13.3 分层规划方法.....	(227)
§ 13.4 高级规划方法.....	(233)
小 结.....	(236)
第十四章 系 统.....	(238)
参考文献.....	(242)

第一章 概 述

计算视觉是计算机科学的一个重要学科分支,自 Roberts 1956 年识别多面体三维景物的研究工作开始,经 Marr 1982 年视觉计算理论体系的构建,到现在有了突飞猛进的发展为止,已经有了近四十年的研究历史。目前,计算视觉的研究范围已很宽广,不但包含了图像处理与分析的大部分内容,而且 also 包括了人工智能、模式识别、多媒体技术中的大部分内容,所以加上与视觉和智能本身的联系,应该说,计算视觉是一个与众多学科相互交叉的边缘学科。

计算视觉的目的就是要分析图像所给出的景物并将其识别出来。比如,假定给你一张人物照片,请你辨认照片中的人物,显然这对于人类来说是一件轻而易举的事情;但同样的问题,让机器来完成,就构成了计算视觉复杂的研究内容。

一般,为了达到计算视觉的目的,计算视觉的研究应包括:

(1)通过视频设备来接收一幅图像,并将其转换为机器能够处理的数字化图像;

(2)对图像进行适当的预处理以改善图像的质量;

(3)提取图像有用的差异性信息,如图形信息(图像边缘)、空间信息(图像深度)、运动信息(图像速度)和分形信息(图像分维数)等等;

(4)对图像信息进行相似性分析,以便将图像按各种不同的组块组织起来,给出参数化表示的图像,如边界合成、区域生成、纹理

分析和表面恢复等都是这方面的内容；

(5)综合运用视觉匹配、学习、规划、推理方法来理解图像所描绘的景物及其含义。

所以,严格地说,计算视觉就是使用科学和技术的人工手段,通过计算装置,在某种程度和范围上代替自然视觉的研究工作。其核心问题是要理解一幅图像所描绘的景物及其含义。图 1.1 给出了计算视觉研究的主要内容和步骤的示意。

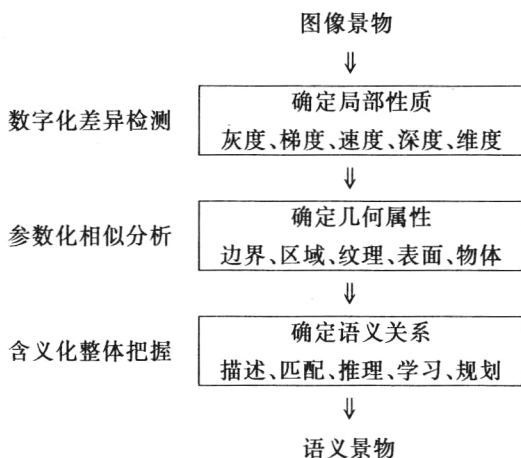


图 1.1 视觉计算的一般过程

当然,纯学科理论、方法和技术的研究,必然会带动实际应用问题的解决。这对于计算视觉而言更是如此。随着计算视觉研究的不断深入,计算视觉的应用不但不断拓广,而且其应用前景也是非常鼓舞人心的。目前其应用领域已遍及工业、国防、农业、体育、医学、科学等各个领域,其应用范围也在不断扩大,表 1.1 列举了一部分应用领域的例子。其中在机器人、航空图像和医学方面的应用尤为突出。如可以漫步在太空的机器人、美国的 SDI 星际大战系统以及运动员水下训练辅助系统都是计算视觉应用的例子。

表 1.1 计算视觉应用状况表

应用领域	对 象	形 态	任 务	知 识	实 例
机械人	室内外景物 机械零件	自然光 X-射线	物体辨识 描述工业任务	物体几何模型 反射表面模型	太空漫步机器人 工业机器人
航空图像	地形 建筑群 导弹	自然光 红外	资源分析 天气预报 导弹制导	地形模型 气象模型 导弹轨迹	SDI 系统
医学	身体器官 细胞、染色体	X-射线、光 超声、同位素	异常诊断 病理分析 科学研究	解剖模型 细胞 染色体结构	CT 重构
公安	指纹 头像	光、热 红外	资料存档 罪犯辨认	指纹、脸谱 形状模型	指纹识别系统
体育	身体器官 运动人体	X-射线、光 超声	疲劳分析 运动校正 训练指导	运动模型 身体模型	水下训练 辅助系统

总之,计算视觉是一个年轻而诱人的学科领域,并有着广泛的应用前景,许多理论和应用问题有待于人们去探索、研究和解决。

第二章 图形检测

输入的景物图像,经过采样、量化、滤波及校正等处理后,可以得到一幅保真度较好的数字灰度图像。不失一般性,可记其为

$$F = [f(i, j)]_{L \times L}$$

其中 $f(i, j)$ 为 $f_{\max}$ 级离散化在像素 (i, j) 处的取值, $L \times L$ 为图像点阵的大小。有时为讨论方便,也常用连续函数 $f(x, y)$ 来表示 $f(i, j)$ 。

有了图像 F 的表示,那么所谓图像的图形检测,就是要根据给定的 F ,寻找那些灰度变化较快的边缘点,也即图形检测就是要:

(1) 计算图像点点灰度变化率,形成所谓的梯度图像或别的反映灰度变化的数据图像;

(2) 根据灰度变化情况,确定边缘点及其走向。

基于这样的认识,在计算视觉的研究中,业已构造了许多具体的图形检测技术和方法。这里,我们将介绍几种有代表性的检测技术和方法。

§ 2.1 经典检测技术

最普通,也是最悠久的边缘检测技术是 1965 年 Roberts 提出的梯度检测技术^[1]。对于给定的图像 F ,这种技术通过计算点点梯

度来确定边缘点及其走向。通常可记每点的梯度为

$$g(i, j) = (s(i, j), \varphi(i, j))$$

其中

$$s(i, j) = \sqrt{\Delta f_x^2 + \Delta f_y^2}$$

$$\varphi(i, j) = \tan^{-1}(\Delta f_y / \Delta f_x)$$

分别称为梯度量值和梯度走向, 这里

$$\Delta f_x = f(i + \text{size}, j) - f(i, j)$$

$$\Delta f_y = f(i, j + \text{size}) - f(i, j)$$

分别为在尺度 size 下 $f(i, j)$ 沿 x 轴和 y 轴的灰度差分。注意 size 的取值很重要, 应该根据图像性质来确定, 既要足够小到能很好地反映图像的局部变化, 又要足够大到能克服图像中微小变化的影响。

有时, 作为改进, 梯度走向的计算也可在 $\varphi(i, j)$ 的基础上加以修正来确定, 即用

$$\phi(i, j) = \begin{cases} \varphi(i, j) & 0 \leq \varphi(i, j) \leq \tan^{-1}\left(\frac{1}{3}\right) \\ \tan^{-1}\left(\frac{7\tan^2\varphi(i, j) + 6\tan\varphi(i, j) - 1}{-9\tan^2\varphi(i, j) + 22\tan\varphi(i, j) - 1}\right) & \text{其它} \end{cases}$$

来代替 $\varphi(i, j)$ 。

有了图像的点点梯度, 就可以通过设置一个阈值 T , 来确定边缘点了。就是说, 只要梯度量值大于 T 的像素, 均作为边缘点, 并将其梯度走向作为边缘走向。

显然, 很容易将上述梯度计算方法推广到二阶差分的运用中, 形成一种称为二阶梯度检测的 Laplacian 方法。有如梯度是一阶导数的离散形式一样, 二阶梯度便是二阶偏导数的离散形式, 故而二阶梯度的计算公式为

$$s(i, j) = f(i, j) - \frac{1}{4}[f(i, j + \text{size}) + f(i, j - \text{size})$$

$$+ f(i + \text{size}, j) + f(i - \text{size}, j)]$$

其中 size 为尺度参数,通常取为 1。

不难看出,由于使用了二阶导数的概念,Laplacian 检测方法存在着两个缺点,即(1)不能提供有用的走向信息,(2)增加了图像中的噪声。因此,目前已很少使用这种方法来进行图像边缘检测了。

另一类经典的边缘检测技术是基于模板的检测技术。所谓基于模板,就是通过预制的模板来匹配寻找边缘点。模板可以开设为 3×3 点阵的窗口,如图 2.1 所示,其边缘梯度的计算公式为

$$s(i, j) = \max_k \{1, \max_{l=k-1}^{k+1} f(i_l, j_l)\}$$

式中 $f(i_k, j_k), k=0, 1, 2, \dots, 7$ 按模 8 计算,为 (i, j) 像素的八个邻近像素之值;而模板匹配的边缘走向则取为上式所得最大值的 k 所确定的 $k-1, k, k+1$ 三个邻近点的连线方向。

(i_0, j_0)	(i_1, j_1)	(i_2, j_2)
(i_7, j_7)	(i, j)	(i_3, j_3)
(i_6, j_6)	(i_5, j_5)	(i_4, j_4)

图 2.1 3×3 模板窗口

作为变化,边缘梯度的计算有时也改用下式进行

$$s(i, j) = \max_k \{1, \max_k \{5s_k - 3t_k\}\}$$

其中

$$s_k = f(i_k, j_k) + f(i_{k+1}, j_{k+1}) + f(i_{k+2}, j_{k+2})$$

$$t_k = \left(\sum_{k=0}^7 f(i_k, j_k) \right) - s_k$$

而边缘方向也由最大值的 $k, k+1, k+2$ 三个点的连线方向确定。

在实际应用中,通常采用“纯”模板来取代上面公式的计算,即用若干种不同的模板实例,与图像分别进行匹配,求出最大匹配的量值和走向作为边缘梯度的结果。比如图 2.2 给出的 Sobel 检测

方法^[2]和图 2.3 给出的 Kirsch 匹配模板^[3]分别是采用两种和四种模板实例的例子。值得注意的是,由于采用“纯”模板方法对 $f(i, j)$ 的量值是敏感的,所以一般都采用大模板来进行实际的边缘检测。

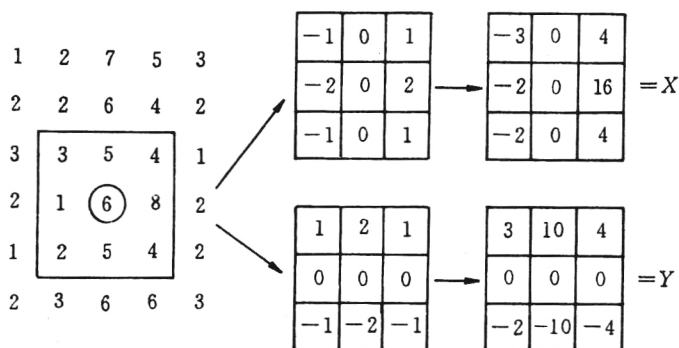
-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

竖板

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

横板

(a) Sobel 模板



$\Delta x = X$ 求和 $\Delta y = Y$ 求和

(b) Sobel 检测原理

图 2.2 Sobel 检测算子

模板检测技术的另一种应用是 Rosenfeld 提出的方法^[4]。与纯模板不同, Rosenfeld 方法首先过像素 (i, j) 作一条斜率为 $\tan \varphi$ 的直线, 然后在该直线的两边, 对称地各开一个窗口, 每个窗口由 $2^l \times 2^l$ 个像素组成, 并计算两个窗口的平均灰度值差, 即计算

$$s^{(\varphi)}(i, j) = \left| \frac{1}{2^{2l}} \sum_{k=0}^{2^l \times 2^l - 1} f(i_k, j_k) - \frac{1}{2^{2l}} \sum_{k=0}^{2^l \times 2^l - 1} f(i'_k, j'_k) \right|$$

然后将梯度量值取为

$$s(i, j) = \max_{\varphi} \{1, \max \{s^{(\varphi)}(i, j)\}\}$$

而梯度走向即为取到最大量值的直线斜率夹角 φ ; 同样, 对于

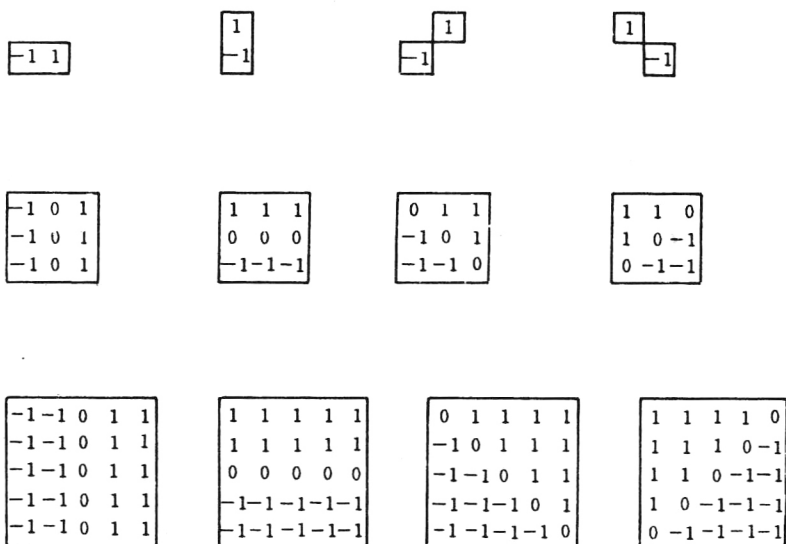


图 2.3 Kirsch 模板

Rosenfeld 方法,窗口的大小直接影响这种检测方法的效果。通常窗口越大,检测的质量越高,但开销也就越大。

§ 2.2 零交叉检测技术

零交叉检测技术是 Marr 和 Hildreth^[5]提出的一种边缘检测方法。因为边缘意味着其一阶导数(差分)取峰值或谷值,也即有一个阶跃变化,这等价于在二阶导数中产生一个零交叉(或称过零点),所以 Marr 认为,为了有效地检测强度的变化,应寻求一个具有如下特点的滤波器:

(1)首先,应当是一个能对图像进行一阶或二阶空间导数运算