

基于 DCT 压缩域的图像边缘检测算法

刘振宇, 崔逊田, 李晓辉

(安徽大学 电子科学与技术学院, 安徽 合肥 230039)

摘要: 目前, 大多数边缘检测算法都是在像素域内进行的, 而图像数据大多以压缩格式传输和存储, 因此要进行边缘检测, 必须先经解压缩, 变成非压缩格式, 再进行处理, 这无疑增加了计算量, 影响了处理的速度和性能。给出了一种直接在 DCT 压缩域中进行边缘检测的方法, 通过推导出的边缘检测矩阵算子, 直接对反量化后的 DCT 系数进行处理, 进而判断出图像边缘点。与传统的像素域边缘检测方法相比, 文中算法由于不需要完全解压缩, 因而大大降低了计算复杂度。

关键词: 边缘检测; DCT; 检测算子

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2008)04-0111-03

Algorithm for Image Edge Detection Based on DCT Compressed Domain

LIU Zhen-yu, CUI Xun-tian, LI Xiao-hui

(School of Electronic Science and Technology, Anhui University, Hefei 230039, China)

Abstract: Now, most of algorithms for detection of image edge are based on pixel domain. However, most of the image data are transferred and stored in their compressed format, so, for the edge detection of an image, it must be decompressed firstly, turn to non-compressed format and processed, which is increased the computational cost and is very ineffective to the overall performance of the processing. In this paper, a method which detects image edge directly in DCT compressed domain is proposed, using the introduced edge detection matrix arithmetic operators, directly computes the DCT coefficients which is quantized and then decided the edge points of the image. Compared with the traditional pixel domain based edge detection method, the computational cost was greatly reduced.

Key words: edge detection; DCT; detection arithmetic operators

0 引言

图像的边缘对人的视觉具有重要意义, 它是图像局部亮度变化最显著的部分, 包含了大部分的图像特征信息。边缘检测是图像分析和理解的重要基础, 一直是机器视觉领域的研究热点。目前, 大多数图像边缘检测算法, 都是在原始数据域进行的。而如今, 压缩格式作为多媒体数据的传输和存储格式具有普遍性, 要用这些算法对压缩格式的图像进行边缘检测, 必须先解压缩, 这就进一步增加了数据处理过程的难度, 有时并不能很好地满足某些实时性场合的需要^[1], 因此, 有必要研究压缩域中的边缘检测算法。另外, 基于分块的离散余弦变换(BDCT), 在图像、视频压缩中有着广泛的应用, 是大多数图像、视频压缩标准的核心压缩算法。鉴于此, 文中研究基于 DCT 压缩域的图像边缘

检测。

1 边缘检测的基本思路

图像边缘是指图像灰度级的突变处、纹理结构的突变处和彩色的变化处等, 主要存在于目标与目标、目标与背景、区域与区域(包括不同色彩)之间, 是图像分割、纹理特征和形状特征等图像分析的重要基础。图像的边缘有幅度和方向两个属性, 沿边缘方向像素变化平缓, 垂直于边缘方向像素变化剧烈^[2]。导数或微分运算是最基本的边缘检测方法, 常用的几种处理有: 一阶偏导运算, 梯度运算, Laplacian 运算等, 对图像施加导数算子, 灰度变化较大的像素点处有较大的导数值, 设置一个阈值就可以提取图像边界点集。

1.1 梯度

图像函数 $f(x, y)$ 的梯度定义为一个向量:

$$\Delta f(x, y) = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (1)$$

该向量的幅度值为:

收稿日期: 2007-07-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60572129)

作者简介: 刘振宇(1981-), 男, 安徽萧县人, 硕士研究生, 主要研究方向为压缩视频通信、数字图像处理; 李晓辉, 教授, 博士, 主要研究方向为多媒体通信、宽带移动通信。

$$\text{mag}(f) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2} \quad (2)$$

方向角为:

$$\alpha(x, y) = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right) = \arctan\left(\frac{\partial f / \partial y}{\partial f / \partial x}\right) \quad (3)$$

1.2 梯度算子

梯度算子是一阶导数算子, 定义为:

$$G[f(x, y)] = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (4)$$

为简化运算, 可使用下面的梯度幅值近似计算式:

$$G[f(x, y)] = |G_x| + |G_y| \quad (5)$$

2 直接在 DCT 域检测图像边缘

运用梯度算子在像素域内对图像求梯度, 可以检测出任意方向上的边缘点, 又由 DCT 逆变换可知, 图像函数可以用 DCT 系数来表示, 所以可对用 DCT 系数表示的图像函数求梯度, 从而实现直接在压缩域中检测图像边缘。公式推导如下:

设图像函数为 $f(x, y)$, 其 8×8 块的二维 DCT 系数为 $F(u, v)$, 由 DCT 逆变换公式:

$$f(x, y) = \frac{1}{4} \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 C(u) C(v) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{16}$$

$$H_{\sin} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin \frac{\pi}{16} & \sin \frac{3\pi}{16} & \sin \frac{5\pi}{16} & \sin \frac{7\pi}{16} & \sin \frac{7\pi}{16} & \sin \frac{5\pi}{16} & \sin \frac{3\pi}{16} & \sin \frac{\pi}{16} \\ \sin \frac{2\pi}{16} & \sin \frac{6\pi}{16} & \sin \frac{6\pi}{16} & \sin \frac{2\pi}{16} & -\sin \frac{2\pi}{16} & -\sin \frac{6\pi}{16} & -\sin \frac{6\pi}{16} & -\sin \frac{2\pi}{16} \\ \sin \frac{3\pi}{16} & \sin \frac{7\pi}{16} & \sin \frac{\pi}{16} & -\sin \frac{5\pi}{16} & -\sin \frac{5\pi}{16} & \sin \frac{\pi}{16} & \sin \frac{7\pi}{16} & \sin \frac{3\pi}{16} \\ \sin \frac{4\pi}{16} & \sin \frac{4\pi}{16} & -\sin \frac{4\pi}{16} & -\sin \frac{4\pi}{16} & \sin \frac{4\pi}{16} & \sin \frac{4\pi}{16} & -\sin \frac{4\pi}{16} & -\sin \frac{4\pi}{16} \\ \sin \frac{5\pi}{16} & \sin \frac{\pi}{16} & -\sin \frac{7\pi}{16} & \sin \frac{3\pi}{16} & \sin \frac{3\pi}{16} & -\sin \frac{7\pi}{16} & \sin \frac{\pi}{16} & \sin \frac{5\pi}{16} \\ \sin \frac{6\pi}{16} & -\sin \frac{2\pi}{16} & -\sin \frac{2\pi}{16} & \sin \frac{6\pi}{16} & -\sin \frac{6\pi}{16} & \sin \frac{2\pi}{16} & \sin \frac{2\pi}{16} & -\sin \frac{6\pi}{16} \\ \sin \frac{7\pi}{16} & -\sin \frac{5\pi}{16} & \sin \frac{3\pi}{16} & -\sin \frac{\pi}{16} & -\sin \frac{\pi}{16} & \sin \frac{3\pi}{16} & -\sin \frac{5\pi}{16} & \sin \frac{7\pi}{16} \end{bmatrix}$$

$$H_{\cos} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \cos \frac{\pi}{16} & \cos \frac{3\pi}{16} & \cos \frac{5\pi}{16} & \cos \frac{7\pi}{16} & -\cos \frac{7\pi}{16} & -\cos \frac{5\pi}{16} & -\cos \frac{3\pi}{16} & -\cos \frac{\pi}{16} \\ \cos \frac{2\pi}{16} & \cos \frac{6\pi}{16} & -\cos \frac{6\pi}{16} & -\cos \frac{2\pi}{16} & -\cos \frac{2\pi}{16} & -\cos \frac{6\pi}{16} & \cos \frac{6\pi}{16} & \cos \frac{2\pi}{16} \\ \cos \frac{3\pi}{16} & -\cos \frac{7\pi}{16} & -\cos \frac{\pi}{16} & -\cos \frac{5\pi}{16} & \cos \frac{5\pi}{16} & \cos \frac{\pi}{16} & \cos \frac{7\pi}{16} & -\cos \frac{3\pi}{16} \\ \cos \frac{4\pi}{16} & -\cos \frac{4\pi}{16} & -\cos \frac{4\pi}{16} & \cos \frac{4\pi}{16} & \cos \frac{4\pi}{16} & -\cos \frac{4\pi}{16} & -\cos \frac{4\pi}{16} & \cos \frac{4\pi}{16} \\ \cos \frac{5\pi}{16} & -\cos \frac{\pi}{16} & \cos \frac{7\pi}{16} & \cos \frac{3\pi}{16} & -\cos \frac{3\pi}{16} & -\cos \frac{7\pi}{16} & \cos \frac{\pi}{16} & -\cos \frac{5\pi}{16} \\ \cos \frac{6\pi}{16} & -\cos \frac{2\pi}{16} & \cos \frac{2\pi}{16} & -\cos \frac{6\pi}{16} & -\cos \frac{6\pi}{16} & \cos \frac{2\pi}{16} & -\cos \frac{2\pi}{16} & \cos \frac{6\pi}{16} \\ \cos \frac{7\pi}{16} & -\cos \frac{5\pi}{16} & \cos \frac{3\pi}{16} & -\cos \frac{\pi}{16} & \cos \frac{\pi}{16} & -\cos \frac{3\pi}{16} & \cos \frac{5\pi}{16} & -\cos \frac{7\pi}{16} \end{bmatrix}$$

$$H_{C(\cdot)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 \end{bmatrix}$$

$$H = \begin{bmatrix} \sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\cos \frac{(2y+1)v\pi}{16} F(u, v) = \frac{1}{2} \sum_{u=0}^7 C(u) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{16} \frac{1}{2} \sum_{v=0}^7 C(v) \cos \frac{(2y+1)v\pi}{16} F(u, v) \quad (6)$$

其中:

$$u, v = 0, 1, 2, \dots, N-1; x, y = 0, 1, 2, \dots, N-1;$$

$$C(u), C(v) = \begin{cases} 1/\sqrt{2} & u = 0 \\ 1 & u = 1, 2, \dots, N-1 \end{cases}$$

对式(6)求梯度^[3], 得:

$$G_x = -\frac{\pi}{32} \sum_{u=0}^7 C(u) u \sin \frac{(2x+1)u\pi}{16} \sum_{v=0}^7 C(v) \cos \frac{(2y+1)v\pi}{16} F(u, v) \quad (7)$$

$$G_y = -\frac{\pi}{32} \sum_{u=0}^7 C(u) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{16} \sum_{v=0}^7 C(v) v \sin \frac{(2y+1)v\pi}{16} F(u, v) \quad (8)$$

将式(7)、(8)写成矩阵形式, 有:

$$G_x = -\frac{\pi}{32} (H_{\sin} H_{C(\cdot)})^T F(u, v) (H_{\cos} H) \quad (9)$$

$$G_y = -\frac{\pi}{32} (H_{\cos} H)^T F(u, v) (H_{\sin} H_{C(\cdot)}) \quad (10)$$

其中:

令 $H_s = H_{\sin} = H_{C(\cdot)}$, $H_c = H_{\cos} H$, 作进一步的化简, 将其中的余弦项化为小数, 并四舍五入保留两个有效数字, 得到两个近似的计算 G_x 和 G_y 的矩阵:

$$H_s = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 6 & 8 & 10 & 10 & 8 & 6 & 2 \\ 8 & 18 & 18 & 8 & -8 & -18 & -18 & -8 \\ 17 & 29 & 6 & -25 & -25 & 6 & 29 & 17 \\ 28 & 28 & -28 & -28 & 28 & 28 & -28 & -28 \\ 42 & 10 & -49 & 28 & 28 & -49 & 10 & 42 \\ 55 & -23 & -23 & 55 & -55 & 23 & 23 & -55 \\ 69 & -58 & 39 & -14 & -14 & 39 & -58 & -69 \end{bmatrix}$$

$$H_c = \begin{bmatrix} 14 & 14 & 14 & 14 & 14 & 14 & 14 & 14 \\ 10 & 8 & 6 & 2 & -2 & -6 & -8 & -10 \\ 9 & 4 & -4 & -9 & -9 & -4 & 4 & 9 \\ 8 & -2 & -10 & -6 & 6 & 10 & 2 & -8 \\ 7 & -7 & -7 & 7 & 7 & -7 & -7 & 7 \\ 6 & -10 & 2 & 8 & -8 & -2 & 10 & -6 \\ 4 & -9 & 9 & -4 & -4 & 9 & -9 & 4 \\ 2 & -6 & 8 & -10 & 10 & -8 & 6 & -2 \end{bmatrix}$$

这里, 把 H_s 和 H_c 称为“DCT 域边缘检测矩阵算子”, 利用这两个算子可将式(9)、(10)写为:

$$G_x = -\frac{\pi}{3200} H_s^T F(u, v) H_c \quad (11)$$

$$G_y = -\frac{\pi}{3200} H_c^T F(u, v) H_s \quad (12)$$

由上可以看出, 对于 8×8 块的 DCT 系数, 只要施以如上的矩阵相乘运算, 就可以快速地计算出梯度的两个分量, 再利用公式(4), 就可以方便地计算出图像 $f(x, y)$ 中某点 (i, j) 梯度的模值, 再结合边缘检测阈值 T 判断该点是否为边缘点, 从而进一步检测出整个图像的边缘。

3 仿真结果

为了验证该算法的有效性, 利用 512×512 的 lena 图像(见图1)对上述结论进行验证。首先对该图像采



图1 原始 lena 图像

用 JPEG 编码, 再对解码过程中反量化后的 DCT 系数进行如上的处理, 每次处理一个 8×8 块, 得到 64 个像素点的梯度幅值, 为了简化计算, 计算幅值时我们采用了公式(5), 并取不同的阈值 T 进行比较, (见图2), 并

与几种经典的边缘检测算法的结果进行了比较(见图3)。

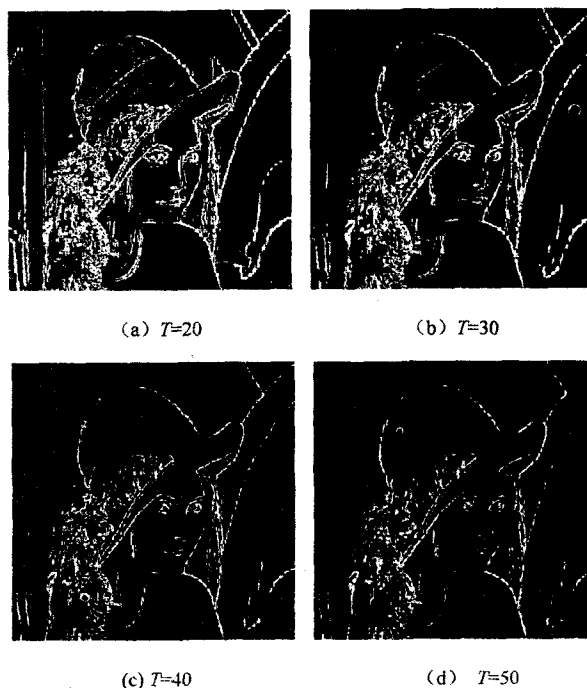


图2 文中算法对 lena 图像的边缘检测结果

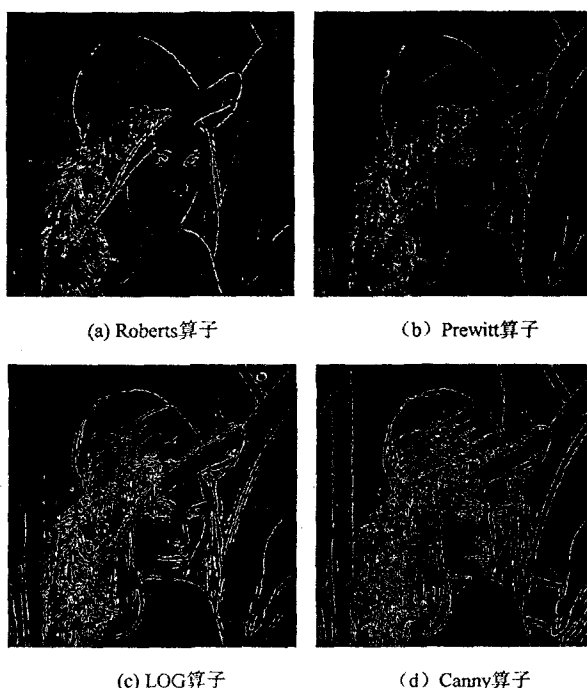


图3 几种经典算法对 lena 图像的边缘检测结果

由图可知, 文中算法较为准确地检测出了图像边缘, 选取不同的边缘阈值, 可以得到有一定差异的图像边缘。在图像边缘检测中, 抑制噪声和边缘精确定位是一对矛盾体, 本算法中没有预先对图像进行平滑处理, 因而对噪声有一定的敏感性, 但是边缘定位精度较高, 效果上比较接近于 Roberts 算子, 对含噪声少的图

(下转第 117 页)

pas de cours, nous ferons un tour au bord de la mer. 输出。

4 系统评价

4.1 试验

选取2004年《人民日报》中、法文网络版的部分文章作为语料库。用ICTCLAS中文词法分析器对中文语料进行词性标注;用概率句法分析器ICTPROP对中文进行句法分析;用Xerox Incremental Parser 8.02对法语进行词性标注及句法分析。得到一个约20万词的汉法平行语料库和汉法对齐句法树库。参考法国计算语言学家Maurice Gross与Boons, Guillet, Leclère等人制作的81个矩阵图(20个固定搭配表,18个句子为补语的简单动词表,43个带名词性补语的简单动词表)^[5,6]对句法树库作进一步处理,从中提炼出4096个汉法对准基本句型库。同时计算出汉语及法语的三词序列出现概率并以三维数组存储如图2所示。

在所建汉法电子词典允许的汉语词汇范围内,向系统输入单谓句、双谓句和三谓句各50个,系统经翻译输出150个法语句子。

4.2 评价

采用人工评测对两个系统进行评价。将5.1中两个系统输出的共150个法语句子分别给母语为法语的三个人阅读,依据好、中、差(“好”指句子符合法语习惯,无任何语法、句法词语搭配等方面的错误,很地道;“中”指句子存在少许错误,但仍易读懂;“差”指错误严

重,难以读懂)进行评价;最后记录下三个人评定的各等级句子个数的均值。其测评结果见表1~表3。不难看出,本系统在处理汉语多谓长句时具备明显的优势。

表1 单谓句测评结果

好	中	差
34	16	0

表2 双谓句测评结果

好	中	差
32	17	1

表3 三谓句测评结果

好	中	差
29	19	2

参考文献:

- [1] 祁依虹,茅于杭. 汉法机器翻译的难点分析[J]. 计算机工程, 2002(9): 235-237.
- [2] 祁依虹;董清富,茅于杭. 汉法机器翻译系统初探[J]. 计算机工程与应用, 2002(18): 114-116.
- [3] 孙良明. 汉语单复句划分标准评析[J]. 山东师范大学学报: 社会科学版, 2000(1): 88-92.
- [4] Yamada K, Knight K. A syntax-based statistical translation model[C]//In: Proceedings of the 39th Annual Meeting of the ACL. [s.l.]: [s.n.], 2001: 523-530.
- [5] Boons J P, Guillet A, Leclère C. La Structure des Phrases Simples en Français[M]//Constructions Intransitives. Droz, Genève: [s.n.], 1976.
- [6] Guillet A, Leclère C. La structure des phrases simples en français[M]//Constructions transitives locatives. Droz, Genève: [s.n.], 1992.

(上接第113页)

像效果较好。Roberts算子容易丢失一部分边缘,也不具备抑制噪声能力;Prewitt算子先对图像做加权平滑处理,虽具有一定的抑制噪声能力,但不能排除出现虚假边缘;Canny算子的边缘定位能力优于本算子,但Canny算子会检测出虚假边缘;LOG算子在抑制噪声的同时会丢失一些尖锐边缘^[2,4,5]。另外,需要提到的是,在推导两个矩阵算子的过程中,将两矩阵中的余弦项进行四舍五入处理,仿真结果表明,这样的处理,使矩阵运算得到了一定程度的简化,在一定程度上节省了运算时间,同时丢失的边缘点极少,比较适宜采用。

4 结 语

与传统的边缘检测方法不同,文中将边缘检测的基本思路用在DCT域,通过直接处理DCT系数,得到图像的边缘信息,使用该方法处理压缩格式图像,比用传统的像素域方法大大节省了处理时间,提高了系统的性能和响应速度;同时,还推导出了通用的在DCT

域进行边缘检测的算子,可以利用该算子对反量化后的每个 8×8 块的系数矩阵(含64个DCT系数)直接进行处理,从而方便快捷地求出每个块中的图像边缘,对一幅图像中所有的块都施以如上的运算,就可以检测出整幅图像的边缘信息。

参考文献:

- [1] 沈兰荪,魏海,黄祥林. 压缩域图像处理技术研究[J]. 北京工业大学学报, 2000, 26(3): 24-25.
- [2] 姚敏. 数字图像处理[M]. 北京:机械工业出版社, 2006: 225-232.
- [3] 王桂华,张问银,唐建国. DCT域图像边缘的快速提取[J]. 计算机应用, 2005, 25(1): 100-102.
- [4] 麦特尔. 现代数字图像处理[M]. 孙洪,译. 北京:电子工业出版社, 2006: 190-199.
- [5] Canny J. A computational approach to edge detection[J]. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8: 679-698.