

基于快速小波包直方图技术的图像检索算法^{*})

曾智勇 周利华 吴成柯

(西安电子科技大学多媒体研究所计算机网络与信息安全教育部重点实验室 西安 710071)

摘要 提出了一种基于快速小波包直方图技术的图像检索新算法。此方法主要有图像的小波包分解,最主要能量频带的选择和小波包直方图的抽取及相似性度量三个步骤。首先,用一族正交小波基分解一幅图像并用小波包系数计算各个频带的能量;其次,选择几个最主要能量频带进行阈值化和非线性滤波;最后,抽取小波包直方图作为特征表示并应用直方图相交距离从图像数据库中检索被查询图像。由于该方法在特征抽取中应用较小的特征空间,因此需要较小的计算复杂性。实验结果表明,这些技术在图像检索中可以获得更好的性能。

关键词 图像检索,主要能量频带,小波包直方图

A Novel Image Retrieval Algorithm Based on Fast Wavelet Packet Histogram Techniques

ZENG Zhi-Yong ZHOU Li-Hua WU Cheng-Ke

(Multimedia Technology Institute, The Ministry of Education Key Laboratory of Computer Network and Information Security, Xidian University, Xi'an 710071)

Abstract A novel image retrieval algorithm based on fast wavelet packet histogram techniques is presented. The algorithm consists of three steps: wavelet packet decomposition, most dominant energy channels selection, wavelet packet histogram extraction and similarity measurement. Firstly, an image is decomposed by a family of real orthonormal wavelet bases and the energy is computed using wavelet packet coefficients. Secondly, few number of most dominant energy channels are selected for thresholding and non-linear filtering. Finally, the wavelet packet histogram is computed as feature signatures and histogram intersection distance is employed to retrieval queried image from image databases. The proposed method employs a smaller feature space and involves as less computation cost in the feature extraction. The experimental results show that these techniques can archive higher performance in the image retrieval.

Keywords Image retrieval, Domain energy channel, Wavelet packet histogram

纹理是一种底层图像特征,在图像检索中具有重要作用。过去三十年来纹理得到了广泛的研究,在空/频域分析中,最近的进展如 Gabor^[1]变换、小波变换为纹理分类提供了良好的多分辨率分析工具并获得了高的准确率。为了对 30 类自然纹理进行分类,Chang 和 Kuo^[2]设计了一种树结构小波变换以获得最主要频率子带,取得了非常高的准确率。然而,这个方法的计算复杂性很高,因为在分类期间为了分类图像,必须进行树结构小波变换。Lain 和 Fan^[3]使用小波包表示集作为特征进行分类,尽管他们报道说对 25 类自然纹理图像取得了完美的分类结果,但他们的方法需要更大的特征空间。Lee 和 Pun^[4]从小波包分解系数中使用主要能量特征设计了一种高效的纹理分类算法。为了在小波域中自动抽取纹理区域,Smith 和 Chang^[5]提出了小波直方图(WH)技术,WH 被用作图像数据库的索引。然而,WH 技术的计算复杂性非常高,此外,它对自然图像不能提供良好的索引性能。Mandal 和 Aboulnasr^[6]提出了快速小波直方图技术获取索引,他们报道说这种方法在大量减少计算复杂性的同时可以获得优异的性能。本文提出了一种基于快速小波包直方图技术的图像检索新方法(FWPHT),该方法具有以下特点:(1)没有使用小波包分解产生的所有子带进行特征抽取,而是只使用最主要的

能量子带,这不仅使所需特征空间更小,而且使计算复杂性大大减少。(2)没有使用能量作为特征表示,而是使用纹理直方图作为特征表示,更好地刻画了图像的特征,提高了检索效率。实验结果表明本文算法是有效的。

1 小波包分解

在基于纹理的图像检索中,小波是一个有力的分析工具。分层小波变换用一族小波函数把原始图像分解成不同的频带,分解过程递归作用于低频子带产生下一层子带。如果选择一个正交小波基,则小波系数是独立的且拥有图像的不同特征。可以把小波包描述成下列基函数的集合^[3]:

$$W_{2n}(2^{p-1}x-l) = \sqrt{2^{l-p}} \sum_m h(m-2l) \sqrt{2^p} W_n(2^p x - m) \quad (1)$$

$$W_{2n+1}(2^{p-1}x-l) = \sqrt{2^{l-p}} \sum_m g(m-2l) \sqrt{2^p} W_n(2^p x - m) \quad (2)$$

其中 p 是尺度因子, l 是平移因子, h 是低通滤波器, g 是高通滤波器,且 $g(k) = (-1)^k h(1-k)$ 。函数 $W_0(x)$ 与尺度函数 ϕ 有关, $W_1(x)$ 与母小波 ψ 有关。不同尺度小波包之间的相反关系可表示如下:

^{*})基金项目:国家自然科学基金重大计划项目(90204012);国家“863”计划项目(2002AA143021);十五国防科技(电子)预研项目(413160501)。
曾智勇 博士研究生,研究方向:图像检索,网络多媒体。周利华 教授,博士生导师,研究方向:网络多媒体,网络安全。吴成柯 教授,博士生导师,研究方向:计算机视觉,三维重建,图形图像处理,视频编码和图像通信等方面。

$$\sqrt{2^p} W_n(2^p x - k) = \sum_l h(k - 2l) \sqrt{2^{p-1}} W_{2n}(2^{p-1} x - l) + \sum_l g(k - 2l) \sqrt{2^{p-1}} W_{2n+1}(2^{p-1} x - l) \quad (3)$$

由于正交性,信号 $f(x)$ 在不同尺度和位置的小波包系数可表示为:

$$C_{n,k}^p = \sqrt{2^p} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \cdot W_n(2^p x - k) dx \quad (4)$$

对于离散信号,小波包系数可有效地计算如下:
从(3)式我们有

$$C_{n,k}^p = \sum_l h(k - 2l) \cdot C_{2n,k}^{p-1} + \sum_l g(k - 2l) \cdot C_{2n+1,k}^{p-1} \quad (5)$$

用(1),(2)式有

$$C_{2n,l}^{p-1} = \sum_m h(m - 2l) \cdot C_{n,m}^p \quad (6)$$

$$C_{2n+1,l}^{p-1} = \sum_m g(m - 2l) \cdot C_{n,m}^p \quad (7)$$

注意, $C_{0,k}^0$ 由下式表示,

$$C_{0,k}^0 = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \cdot \phi(x - k) dx \quad (8)$$

由于二维小波包基函数可表示为分别沿着水平方向和垂直方向的两个一维小波包基函数之积,故相应的滤波器系数有四组:

$$\begin{aligned} hh(k, l) &= h(k)h(l) \\ hg(k, l) &= h(k)g(l) \\ gh(k, l) &= g(k)h(l) \\ gg(k, l) &= g(k)g(l) \end{aligned} \quad (9)$$

在实验中我们使用广泛应用的 Daubechies(db20)构造的小波,这些小波是正交和紧支撑的。

2 小波包直方图的抽取

对一幅图像进行完全小波包分解,然而,完全小波包分解将产生许多系数,需要很大的特征空间。文[4]认为,从小波包变换中获得的最主要频率子带可以很好地区分纹理。因此,我们选择具有最高能量的8个频带进行特征抽取,从而大大减少了特征空间,如图1所示。这8个频带的能量占有小波包频带能量的99.7%以上,因此,这8个频带可以很好地代表图像的纹理特征。然后,把8个子带相同位置的纹理频带值定义为具有8维矢量的一个纹理点。这样,对于大小为 $m \times n$ 的子带有 mn 个8维矢量纹理点,8维矢量的每一个分量都被阈值化为2级,能量高的为1,能量低的为0。由矢量分量的二进制性质,256($=2^8$)个不同矢量张成整个8维空间。这些矢量的直方图被用作图像索引,由于直方图是在小波包域生成的,故我们称之为小波包直方图(WPH),这些技术称之为快速小波包直方图技术(FWPHT)。



(a)

4163.0	7.8711	0.1698	0.7275
7.6132	6.0054	0.9957	0.8368
2.5206	4.4981	2.2039	4.1837
4.0473	17.969	5.0144	1.9934

(b)

图1 (a)为Lena图像;(b)为8个主要能量子带的能量值表

小波包直方图抽取算法如下:

(1)给定一幅 $N \times N$ 的图像,用一族实正交小波基对它进行2层小波包分解^[3]。

(2)对每一个序列 n ,计算小波包系数 $C_{n,k}^p$,其中, $n=0, \dots, 4^p-1, k=0, \dots, \lfloor N/2^p \rfloor^2-1$ 。

(3)对小波包系数的每个序列 $C_{n,k}^p$ 计算能量值 $S_n, S_n = \frac{1}{N^2} \sum_{k=1}^N |C_{n,k}^p|^2$ 。

(4)将能量值 S_n 进行排序,将对应前8个能量值的子带阈值化为二级,高于阈值的为1,低于阈值的为0,这样形成8个二值图像。然后对二值图像进行非线性滤波以消除非纹理特征,从另一方面来说是增强纹理特征。非线性滤波可用中值滤波或形态学滤波来完成。

(5)抽取图像的小波包直方图 WPH 作为特征表示,计算查询图像 p 与图像数据库中任一幅图像 q 的 WPH 的直方图相交距离 $D(p, q), D(p, q) = \sum_{k=1}^{256} \min(H_p^k, H_q^k)$,然后排序查询结果并将它返回给用户。

3 实验结果

3.1 计算复杂性

FWPHT 的计算复杂性包括两个方面:(1)产生特征矢量的复杂性;(2)比较特征矢量的复杂性。其中,前者只产生一次并与图像一起存储,后者在每次图像检索时都要执行。表1提供了对 WHT,FWHT 和 FWPHT 算法的计算复杂性分析。

表1 三种技术的计算复杂性比较

模块	近似操作数		
	WHT	FWHT	WPHT
能量计算	$N_B * N_P$	$N_U * N_P / 16$	N_P
阈值化	$N_B * N_P$	$N_U * N_P / 16$	$N_P / 2$
能量计算		$4 * N_D * N_P / 16$	
阈值化		$N_D * N_P / 16$	
特征点产生	$N_B * N_P$	$N_B * N_P / 16$	$N_P / 16$
直方图计算	N_P	$N_P / 16$	$N_P / 16$
合计	$(3N_B + 1) * N_P$	$\frac{(2N_U + 5N_D + N_B + 1)}{16} * N_P$	$\frac{33}{16} * N_P$
实验结果(秒)	1.8e+6	8.6e+4	2.3e+3

注: N_U ="上抽样"和滤波所用子带数; N_D ="下抽样"和滤波所用子带数; N_B =子带总数; N_P =图像的像素数。

从表1可以看出,WHT 只需要"上抽样",而 FWHT 既需要"上抽样",又需要"下抽样",FWPHT 既不需要"上抽样",也不需要"下抽样",因此,WPHT 计算复杂性减少的原因是:(1)减少了能量计算和阈值化时的子带数;(2)避免了"上抽样"和"下抽样"。

三种技术查询时间复杂性相似,依赖直方图的 bin 数,WHT 的 bin 为 512,FWHT 的 bin 为 1024,而 FWPHT 的 bin 为 256,三种技术的检索速度如表2所示。

表2 三种技术的检索速度

检索速度(秒)		
WHT	FWHT	FWPHT
1.9	1.3	1.0

3.2 检索性能

本文图像数据库为从 Corel 图像库中下载的 1000 幅图像,图像大小为 384×256 或 256×384 ,这些图像分为 10 类,每一类有 100 幅图像。实验在相同的软硬件环境进行,检索

系统运行的硬件环境为:P4 2.3G 计算机,256M 内存,运行的软件环境是:Windows XP 操作系统。

为了检验算法的检索效果,我们在图像数据库中选取 10 类图像组成查询集来检验不同算法的检索效果,这 10 类图像是:非洲、海滩、建筑物、鲜花、公共汽车、恐龙、高山、马、大象和食品。并采用“查准率(precision)”和“查全率(recall)”作为算法检索效果的评价标准。其中,查准率是指在一次查询过程中,系统返回的查询结果中的相关图像的数量占所有返回图像数目的比例,即 $\text{precision} = R/N$ 。查全率指在一次查询过程中,系统返回的查询结果中的相关图像的数量占图像数据库中所有相关图像数目(包括返回的和没有返回的)的比例,即 $\text{recall} = R/M$ 。这里 N 代表检索结果返回的图像总数, R 代表查询结果中与例子图像相关的目标图像数, M 表示图像库中与查询图像相关的目标图像总数。对于不同图像检索算法,在相同的检索率条件下检索的查准率越高,则表明该算法的检索效果越好。

我们从图像数据库的每类图像中分别抽取 10 幅图像来进行检索,总共形成 100 次检索结果,并取 100 次检索结果查准率和查全率的平均值作为算法的平均检索结果。图 2 给出了本文 FWPHT 算法同 WHT 算法及 FWHT 算法在这个图像数据库的“查准率”和“查全率”上的对比曲线。从图 2 可以看出,FWPHT 算法的检索效果稍好于 FWHT 算法,但明显好于 WHT 的算法。

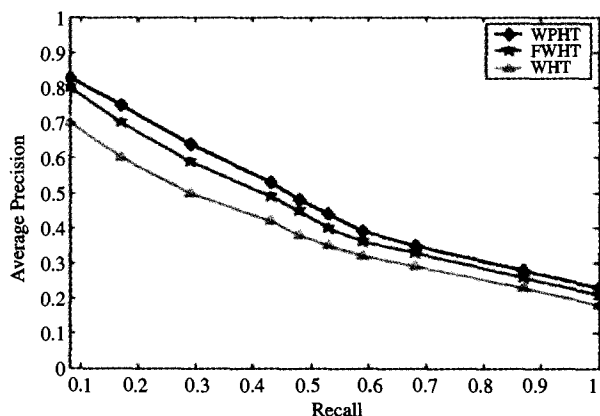


图 2 三种算法查准率与查全率的变化曲线

图 3 是用本文算法进行检索的两个检索结果,在显示的 30 幅图像中,左上角为查询图像兼检索结果,其余图像为检索结果,在检索结果(1)中有 26 幅图像是准确检索图像。在检索结果(2)中有 25 幅图像是准确检索图像。

结论 本文提出了基于快速小波包直方图技术的图像检索新算法。该算法只使用具有最高能量的 8 个子带进行特征抽取,这样特征空间和计算复杂度都大大减少。实验结果表明,该算法比文献中所提算法无论在计算复杂性上还是在检索性能上均更有效。

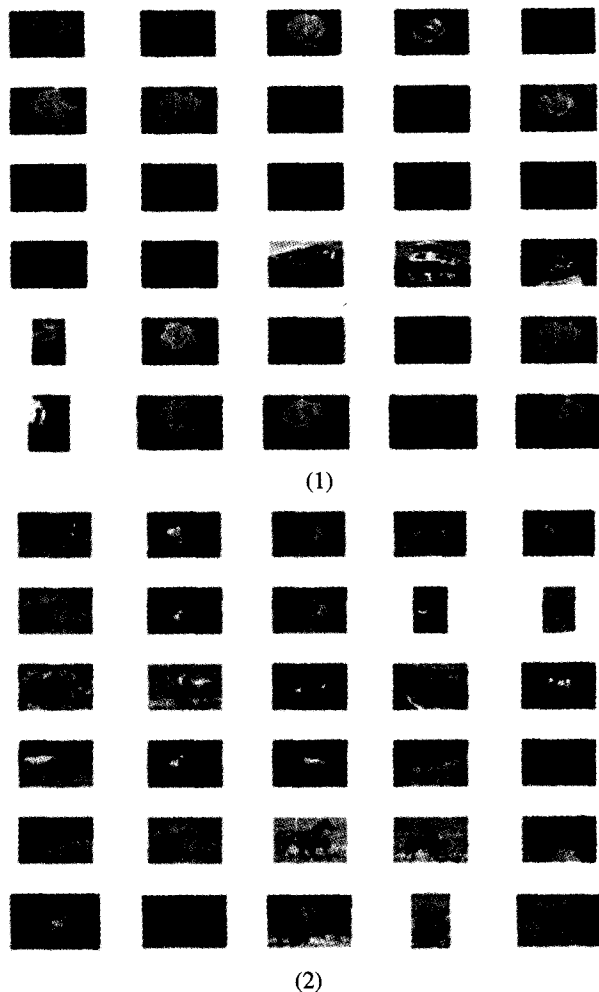


图 3 两个检索结果

参考文献

- 1 Bovik A C, Clark M, Geisler W S. Multichannel texture analysis using localized spatial filters[J]. IEEE Trans. PAMI, 1990, 12 (1):55~73
- 2 Chang T, Kuo C C J. Texture analysis and classification with tree-structured wavelet transform[J]. IEEE Trans. Image Processing, 1993, 2:429~441
- 3 Lain A, Fan J. Texture classification by wavelet packet signatures[J]. IEEE Trans. PAMI, 1993, 15:1186~1191
- 4 Lee M C, Pun C M. Texture classification using domain wavelet packet energy feature[A]. Image Analysis and Interpretation, 2000, In:Proc. 4th IEEE Southwest Symposium, Austin, Texas, USA, April, 2000. 301~304
- 5 Smith J R, Chang S F. Automated binary texture feature sets for image retrieval[A]. In:Proc. ICASSP, Atlanta, May, 1996, 4: 2239~2242
- 6 Mandal M K, Aboulnasr T. Fast wavelet histogram techniques for image indexing[J]. Computer Vision and Image Understanding, 1999, 75(1-2):99~110