

基于极结构小波包的纹理检索

张 涛 王成儒

张 瑞

(燕山大学信息科学与工程学院 秦皇岛 066004)

(中国人民解放军西安通信学院 西安 710106)

摘 要 小波包是基于纹理图像检索的重要工具,但标准小波包变换方法计算量与特征向量维数均随分解阶数的增加呈几何级数递增,使得该方法难以满足大规模纹理分析的需要。因此提出极结构小波包方法,在保留标准小波包良好的检索性能基础上简化计算和降低特征维数。实验证明,极结构小波包结构在图像检索中可以满足实时性较高的图像检索需要。

关键词 图像检索 纹理 小波包 极结构

随着网络技术和多媒体技术的发展,基于内容的图像检索技术成为了大规模图像库应用和管理的重要手段。目前图像检索需要解决的问题除检索效果外,还包括检索使用的特征向量维数。过高的特征向量维数不但需要更大的存储空间用于特征库的存储,同时也增加了相似性度量阶段的运算复杂度。因此,在基本不影响检索效果的同时,特征向量的维数应尽可能减小以提高检索系统的效率与性能。

基于内容的图像检索技术通过提取图像的颜色、纹理和形状等视觉特征作为特征索引。其中纹理特征由于不依赖于颜色或亮度而反映图像中的同质现象,是图像检索的重要依据。小波包算法^[1]作为一种多分辨率的纹理分析方法,近年来得到广泛应用。本文在分析标准小波包算法在纹理分析中作用的基础上对其进行简化和改进,以达到减少计算量、缩减特征维数、最终满足工程要求的目的。

1 标准二维小波包变换

在图像的二维小波变换分析中,一幅图像被分为一个近似图像和三个细节图像。进而对近似图像进行分解,得到二阶的近似图像和细节图像。而在小波包分解中,三个细节图像也和近似图像一样被进行进一步的分解。由于纹理图像高频部分所包含的纹理细节信息是纹理检索的重要依据,因此与小波变换相比,小波包更适合用于图像检索目的的纹理特征提取与描述^[2,3]。

标准的二维离散小波包变换可以看成是一组正交镜像滤波器(Quadrature Mirror Filter, QMF) H 和 G 。 H 为有限冲激响应低通滤波器,系统函数 $h(n)$ 。 G 为高通滤波器,其系统函数为:

$$g(n) = (-1)^n h(1-n) \quad (1)$$

且 $h(n)$ 与 $g(n)$ 满足以下关系式:

$$\sum_n h(n) h(n+2j) = 0 \quad j \neq 0 \quad (2)$$

$$\sum_n h(n)^2 = 1 \quad (3)$$

$$\sum_n h(n) g(n+2j) = 0 \quad (4)$$

对大小为 $M \times N$ 的图像 x 的 $p+1$ 阶 ($p \leq \min(\log_2(N), \log_2(M))$) 二维小波包分解可通过 p 阶分解系数递推得到:

$$C_{4k+1, (i,j)}^{p+1} = \sum_m \sum_n h(m) h(n) C_{k, (m+2^p, n+2^p)}^p \quad (5)$$

$$C_{4k+1, (i,j)}^{p+1} = \sum_m \sum_n h(m) g(n) C_{k, (m+2^p, n+2^p)}^p \quad (6)$$

$$C_{4k+2, (i,j)}^{p+1} = \sum_m \sum_n g(m) h(n) C_{k, (m+2^p, n+2^p)}^p \quad (7)$$

$$C_{4k+3, (i,j)}^{p+1} = \sum_m \sum_n g(m) g(n) C_{k, (m+2^p, n+2^p)}^p \quad (8)$$

其中 $C_{0, (i,j)}^0 = x_{(i,j)}$ 。由滤波器的观点,对一幅图像的 p 阶标准小波包分解相当于 $\frac{4}{3}(4^p - 1)$ 次二维滤波操作。如采用分解系数 C^p 的一种低阶统计量作为特征向量,其向量维数为 4^p 。

2 极结构小波包变换

标准的小波包变换虽然具有分析精确的特点,但其计算复杂且形成的特征向量维数相对较高。由本文可以看到,用于纹理分析的标准小波包变换其计算量与特征向量维数均随分解阶数的增加呈几何级数递增,使得该方法难以满足大规模纹理分析的需要。基于此,文中提出极结构小波包方法,在保留标准小波包良好的检索性能基础上简化计算和降低特征维数。

以式(6)为例, $C_{4k+1, (i,j)}^{p+1}$ 可以理解为先对 $C_{k, (i,j)}^p$ 先行行的低通操作,然后对列进行高通的结果。因此 $C_{4k+1, (i,j)}^{p+1}$ 中保留的是原图像中的行低频和列高频部分。如继续用(7)式对 $C_{4k+1, (i,j)}^{p+1}$ 进行进一步分解,其结果是保留 $C_{4k+1, (i,j)}^{p+1}$ 的行高频与列低频。由于两次分解可看作频域互补,因此这样的分解系数几乎无法反映原始图像信息,由此所提取的特征也难以有效表示该图像内容。同理,继续利用(5)(7)(8)式对 $C_{4k+1, (i,j)}^{p+1}$ 的进一步分解也将丢失部分信息,因此对于由(6)式得到的 LH 波段子图 $C_{4k+1, (i,j)}^{p+1}$ 仅利用(6)式继续对其进行进一步 LH 分解即可对原始图像信息进行有效保留。

作者简介:张 涛,男,1979年生,硕士研究生,助教,研究方向为基于内容的图像检索、纹理分析;王成儒,男,1949年生,教授,研究方向为图像处理、模式识别等;张 瑞,女,1982年生,助理工程师,研究方向为模式识别、多媒体信息分析与检索。

同理,对于其它各波段子图也仅进行相应波段滤波器的分解,该分解结构称为极结构小波包分解。由以上过程可知,极结构小波包的 p 阶分解仅需进行 $4p$ 次的滤波操作,与标准结构小波包分解相比得到了极大的简化。且如采用与标准小波包相同的特征提取方式,特征向量维数恒为 4。但由于极结构小波在分解和特征提取过程中忽略了部分信息,因此需对所有分解系数做特征提取,因此其特征维数为 $4p$ 。由 p 为非负整数知 $4p \leq 4^p$,特征维数得到缩减。

3 实验结果

采用以下统计量作为特征向量对两种结构的小波包分解进行特征提取并进行对比测试:

能量: $Em_n^p = \sum_i \sum_j |C_{n,(i,j)}^p|$ (9)

能量方差: $E\sigma_n^p = \sqrt{\sum_i \sum_j (|C_{n,(i,j)}^p| - Em_n^p)^2}$ (10)

均值: $m_n^p = \sum_i \sum_j C_{n,(i,j)}^p$ (11)

标准方差: $\sigma_n^p = \sqrt{\sum_i \sum_j (C_{n,(i,j)}^p - m_n^p)^2}$ (12)

实验分别采用 Euclidean 距离和 Canberra 距离进行相似性度量,表达式如下所示:

Euclidean 距离: $d_E(x,y) = \sqrt{\sum_{i=1}^d (x_i - y_i)^2}$ (13)

Canberra 距离: $d_{can}(x,y) = \sum_{i=1}^d \frac{|x_i - y_i|}{|x_i| + |y_i|}$ (14)

其中 Euclidean 距离计算简单,是图像检索中常用的相似性度量依据。但其不对向量作归一化处理,当各分量大小相差过大时可能引起误差。而 Canberra 距离在利用表达式的分子表示分量距离的同时,利用分母完成该分量距离的归一化,因此避免了分量间数值相差过大给计算结果带来的影响。

同时,根据 Bin Zhang 等人的研究,不同小波函数在纹理分析中表现相当,因此,本实验对两种小波包结构均采用 Daubechies 4 系小波函数进行测试。实验环境为: Intel P4 2.4G, 256MB, Matlab 6.5。采用的测试图像库为经 Queensland 大学分类的 Brodatz 自然纹理图像库^[4]。该图像库共 256 幅图像,每一幅图像只与其它 255 幅图中的 15 幅相关。256 幅图像中的每一幅均作为检索图像参加一次检索,本文中的所有实验数据均为这 256 次检索的平均值。

实验采用查准率评价检索效果,采用特征提取时间评价检索效率。查准率是指在一次查询过程中,系统返回的查询结果

中相关图像数目占有返回图像数目的比例。本实验返回图像数为 16 幅;特征提取时间为对纹理图像进行特征提取所需时间。结果如表 1 所示。

表 1 不同参数与距离下两种结构的小波包分解检索结果

特征参数	标准小波包分解			极结构小波包分解		
	查准率		特征提取	查准率		特征提取
	Euclidean	Canberra	时间(秒)	Euclidean	Canberra	时间(秒)
	距离(%)	距离(%)		距离(%)	距离(%)	
能量	74.61	88.36	0.86	69.41	85.21	0.38
能量方差	89.04	90.11	0.86	86.37	89.62	0.38
均值	38.87	49.95	0.86	37.92	48.55	0.38
标准方差	90.02	93.42	0.86	87.35	92.53	0.38

由表 1 可知,相同小波包结构下提取各种参数所需时间相同,因为相对于小波包分解,四种参数的计算复杂度差异可以忽略。但极结构小波包的特征提取时间明显小于标准小波包分解,主要因为极结构小波包的滤波次数由标准小波包的 $\frac{4}{3}(4^p - 1)$ 减少至 $4p$,运算复杂度大大降低。

由于对特征向量的各分量进行了归一化处理,因此,同结构同参数下 Canberra 距离的查准率要普遍高于 Euclidean 距离下的查准率。但由于极结构小波包在运算过程中对部分信息进行了忽略,其查准率要略低于标准小波包。

4 结 论

本文在分析传统全结构小波包参数的基础上提出使用极结构小波包参数进行基于纹理的图像检索。实验表明,无论使用哪种结构小波包和参数,Canberra 距离要优于 Euclidean 距离。实验同时表明,极结构小波包尽管在检索效果上稍逊于标准小波包,但其检索效果提高达到 126%,因此该方法尤其适用于实时性要求较高的大规模图像检索。

参 考 文 献

1 Andrew Laine, Jian Fan, Texture Classification by Wavelet Packet Signatures, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1993; (11)
2 Bin Zhang, Catanlin I Tomai, Ailong Zhang, Adaptive Texture Image Retrieval in Transform Domain, IEEE International Conference on Multimedia and Expo, 2002, vol2
3 S. Arivazhagan, L. Ganesan, Texture Classification Using Wavelet Transform, Pattern Recognition Letters 2003, 24
4 SMITH Guy, Brodatz Test Suite www. cssip. uq. edu. au/ staff/ meastex/ imgs/ brodatz. html, 1998-01-19/ 2003-10-03

(责编:阳王京)

(上接第 103 页)

6 Crouch CJ, An Approach to the Automatic Construction of Global Thesauri, Information Processing and Management, 1990; (5)
7 Lin DK, Automatic Retrieval and Clustering of Similar Words, Proceedings of the 17th International Conference on Computational Linguistics and 36th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, Montreal, 1998, 6: 768-774.
8 Pierre P. Senellart, Extraction of Information in Large Graphs: Automatic Search for Synonyms, Masters Intership Reports, University catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgium, 2001
9 Resnik P, Semantic Similarity in a Taxonomy: an Information-based Measure and its Application to Problems of Ambiguity in Natural Language, Journal of

Artificial Intelligence Research, 1999
10 Li S J, Zhang J, Huang X, Bai S, Semantic Computation in Chinese Question-answering System, Journal of Computer Science and Technology, 2002; (6)
11 Silverstein G, Henzinger M, Marais H, Moricz M, Analysis of a very large Altavista query log, ACM-SIGIR Forum, 1999; (1)
12 梅家驹, 同义词词林, 上海: 上海辞书出版社, 1983
13 Zhou M L, Some Concepts and Mathematical Consideration of Similarity System theory, Journal of System Science and System Engineering, 1992; (1)
14 Osmar R. Z. Alexander S, Finding Similar Queries to Satisfy Searches Based on Query Traces, C. Rolland(ed.), Workshops of the 8th International Conference on Object-Oriented Information Systems (Spring Heidelberg), Montpellier, France, 2002 (责编:阳王京)