

文章编号 :1001-2486(2000)06-0087-04

一种测量图像相似性的新方法*

王文惠,王展,周良柱,万建伟

(国防科学技术大学电子科学与工程学院,湖南长沙 410073)

摘要 在基于内容的图像检索技术中,图像相似性度量是至关重要的一步。基于 EMD(Earth Mover's Distance)提出了一种度量图像相似性的方法,并针对图像的颜色句柄进行理论分析和实验仿真。实验结果表明了该算法的有效性。

关键词 图像检索;EMD 测量;颜色句柄

中图分类号:TP 391.4 文献标识码:A

A New Dissimilarity Measure in Image

WANG Wen-hui, WANG Zhan, ZHOU Liang-zhu, WAN Jian-wei

(College of Electrical Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract Dissimilarity measure is a key step in content-based image retrieval. A new distance based on Earth Mover's Distance is used to calculate dissimilarity between images. Color signature is used to verify its effect, and the experiment result is satisfactory.

Key words image retrieval; EMD measure; color signature

图像的相似性度量,是基于内容的图像检索技术中一个关键问题。它是建立在图像内容的基础上,由图像内容的相似度得到图像相似度的一种比较方法。其中,图像的颜色、形状、纹理被认为是第一层次上的特征,具有相对直观的特点。语义内容是第二层次上的特征,具有相对主观抽象的特点^[1]。目前对图像相似性度量的研究主要集中在第一层次上,即基于图像的颜色、形状、纹理等特征。本文讨论的度量图像相似性的方法以第一层次特征为基础,并以彩色图像的颜色特征为例进行说明和验证。该方法完全可以推广应用到图像的其他特征。

1 图像相似性测量的经典方法

描述图像颜色特征的方法有直方图和颜色句柄^[2]。设描述图像特征的颜色句柄 $p = \{ (p_i, w_i) | i = 1, \dots, N \}$ 表示颜色 $p_i = (R_i, G_i, B_i)$ 在图像中包含 w_i 个像素点。数据库内图像颜色句柄的长度 N 一般是不同的,每幅图像颜色句柄的长度由图像本身的内容决定。直方图同颜色句柄有相同的表示形式,但对所有的图像而言,直方图对颜色空间的划分是一致的。

图像的相似性测量用图像之间的距离表示。距离越大,图像之间的差别越大。反之亦然。距离有 Minkowski 距离、 χ^2 统计距离、二次距离^[3]等。但是就本质而言,这些方法可以被分成两类:一一映射法和交叉映射法。一一映射法测距公式可以用下式表示:

$$d_{\parallel}(H, K) = \sum_i \text{DISTANCE}(h_i, k_i) \quad (1)$$

其中 H 和 K 分别代表两幅图像的直方图或颜色句柄,并且两幅图像直方图簇数或颜色句柄的长度一定相等,对应簇 h_i 和 k_i 之间的距离称为基本距离。常用的属于一一映射法的距离有

· Minkowski 距离(简称 M 距离): $d_M(H, K) = \left(\sum_i |h_i - k_i|^p \right)^{1/p}, p = 1, 2, \dots$ (2)

· 交集距离(简称 \cap 距离): $d_{\cap}(H, K) = 1 - \frac{\sum_i \min(h_i, k_i)}{\sum_i k_i}$ (3)

* 收稿日期:2000-07-05
资助基金:高等学校骨干教师资助计划项目(2000)
作者简介:王文惠(1971-)女,博士生。

· Kullback-Leibler 距离(简称 KL 距离) $d_{KL}(H, K) = \sum_i h_i \log \frac{h_i}{k_i}$ (4)

· χ^2 统计距离(简称 χ^2 距离): $d_{\chi^2}(H, K) = \sum_i \frac{(h_i - m_i)^2}{m_i}$
其中 $m_i = \frac{h_i + k_i}{2}$ (5)

属于交叉映射法的距离,用通用的表达式表示为:

$$d_x(H, K) = \sum_i \sum_j \text{DISTANCE}(h_i, k_j) \quad (6)$$

· 二次距离(简称 QF 距离): $d_f(H, K) = \sqrt{(h - k)^T A (h - k)}$ (7)

其中矢量 h 和 k 分别代表直方图或颜色句柄中的簇矢量,矩阵 $A = [a_{ij}]$, a_{ij} 定义第 i 簇和第 j 簇之间的距离。

一一映射和交叉映射都存在明显的不足。一一映射法的缺陷,主要产生于图像直方图或颜色句柄对颜色空间的分割,因为只计算对应簇的差别,而相似颜色的两个点可能被划分到不同的两个簇中,从而无法得到比较。交叉映射法计算任意两个颜色簇之间的差别,使得不应该进行比较的不相近颜色进行了相似性比较,从而产生了计算误差。

上述误差的产生,是由于采用的距离计算方法不当带来的。针对两种方法的缺陷,我们提出了一种新的计算距离的方法,既克服了相似颜色无法比较的缺点,又克服了比较差别较大颜色的不足。

2 基于 EMD 的图像距离测度

EMD(Earth Mover's Distance)产生于物理学线性规划中的运输问题^[4]是它的具体算法。形象的解释 EMD 就是:空间 S 中分布着 M 堆土 P_i , $i = 1, \dots, M$, 每堆土的质量为 w_{p_i} , 同时分布有 N 个土坑 Q_j , $i = 1, \dots, N$, 每个坑的大小,即可以装土的质量为 w_{q_j} 。把所有土填到这些坑内,做的功表示为:

$$\text{WORK}(P, Q, F) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N d(P_i, Q_j) f_{ij} \quad (8)$$

其中 $d(P_i, Q_j)$ 表示第 i 堆土到第 j 个坑的距离,为了与图像的距离测度区别,把它称之为基本距离,或单位代价。 f_{ij} 表示从第 i 堆土运到第 j 个坑的土的质量。 $d(P_i, Q_j) f_{ij}$ 表示把第 i 堆土中质量为 f_{ij} 的土运到第 j 个坑所做的功。(8)式隐含的约束条件包括:

$$f_{ij} \geq 0, 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^N f_{ij} \leq w_{p_i}, 1 \leq i \leq M \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f_{ij} = \min(\sum_{i=1}^M w_{p_i}, \sum_{j=1}^N w_{q_j}) \quad (11)$$

条件(9)说明,每次搬运土的质量大于零时才做功。条件(10)说明,从第 i 堆土运到各个坑的土的质量总和,一定不会大于该堆土的质量。条件(11)说明从各堆土运到第 j 个坑的土的质量总和,一定不会大于该坑所能容纳的土的质量。从上述定义,我们不难把图像相似性度量的问题,转化为计算 EMD 的问题。当测量两幅图像的距离时,把其中一幅图像的特征矢量映射为土堆,另一幅图像的特征矢量映射为土坑,则两幅图像之间的距离,就是把所有的土填入坑内,在选择最佳路径的情况下,做功的最小值。本文中特征矢量是以图像的颜色句柄(直方图是颜色句柄的一种特例)为例。这样最佳路径的选择,相当于使颜色相近的簇进行了匹配,因为颜色相近的值“距离”小。这样图像的 EMD 相似性距离测度,定义为

$$d_{\text{EMD}}(P, Q) = \frac{\min(\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N d(P_i, Q_j) f_{ij})}{\min(\sum_{i=1}^M w_{p_i}, \sum_{j=1}^N w_{q_j})} \quad (12)$$

(12)式的分母是归一化因子。分子同线性规划中运输问题的目标函数完全一致。约束条件(9)-(11)也可以转换为运输问题的约束条件的标准形式。这样,式(12)的计算问题采用文[4]中的标准算法,本文不再赘述。

为了说明 EMD 距离的优良特性,我们以图 1 为例。图 1 左边的三幅图(a)(b)(c)和相应的颜色句柄示意图,计算(a)和(b)(b)和(c)之间的距离,带箭头的线段表明最佳搬运的路线,得到 $d(a,b)=1, d(b,c)=3.5$ 。右边是三幅图(a)(b)(d)和它们的颜色句柄示意图,计算得到 $d(a,b)=1, d(b,d)=1.5$ 。对人观察而言(a)和(b)最相近(c)比(d)从视觉上更接近于(a)和(b),计算结果也证实了上述结论。这个例子说明了 EMD 测度的优良性能。

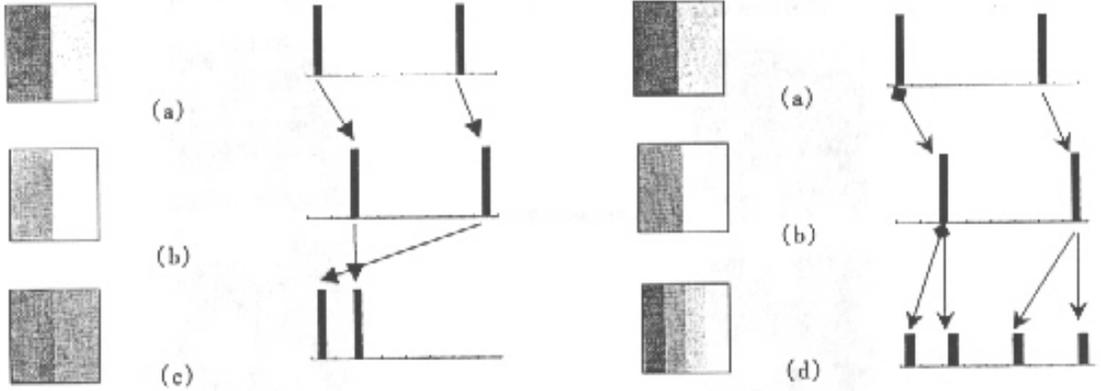


图 1 利用 EMD 测距

Fig.1 Dissimilarity measure using EMD

3 仿真实验及结论

为了清楚的说明 EMD 测度的优良性能,从作者自己建立的标准图库(128×128,24位彩色图像)中选择一幅为模板图像,计算各幅图与模板图像的 EMD 距离。图像库内的图像分为四个目录:花草、岩石、雕刻、树木。以 EMD 测度最小的四幅图像作为查询结果。图 2(a)是模板图像,(a)(b)(c)(d)是查询结果(包括原图),每幅图像与模板图像的 EMD 测度值,由表 1 给出。按照文[5]抽取图像的颜色句柄,图 2 每行从左至右依次为原始图像,图像的颜色句柄,和由颜色句柄恢复的图像。颜色句柄的横轴表示图像被量化的颜色,纵轴表示该颜色在图像中所有的像素数。

表 1 EMD 计算值

Tab.1 EMD results

与模板比较	模板	(a)	(b)	(c)
EMD 测度值	0	43.6383	46.2175	68.6650

本例中计算 EMD 测度定义如下：

若颜色句柄 $P = \{ (p_i, w_i) | i = 1, \dots, M \}, p_i = (R_i, G_i, B_i)$, 被作为沙土堆；

颜色句柄 $Q = \{ (q_i, u_i) | i = 1, \dots, N \}, q_i = (R'_i, G'_i, B'_i)$, 被作为土坑。

$$\text{而基本距离是：} d(p_i, q_j) = \sqrt{(R_i - R'_j)^2 + (G_i - G'_j)^2 + (B_i - B'_j)^2} \quad (13)$$

通过(12)式计算,得到表 1。结果说明,利用 EMD 距离不仅检索出正确的图像,而且计算值符合视觉效果。图像与本身 EMD 距离为 0,而(b)和(c)与(a)的相似性视觉上相同,因此 EMD 距离大小也相同,(d)同(a)相差较大,距离也较大。

虽然 EMD 精确的计算了图像的相似性,但是它属于 NP 问题^[4],计算量是不能回避的问题。因此,在具体应用时,计算图像的颜色特征并保存,检索时先利用颜色重心比较相似性^[6],进行图像检索粗选,

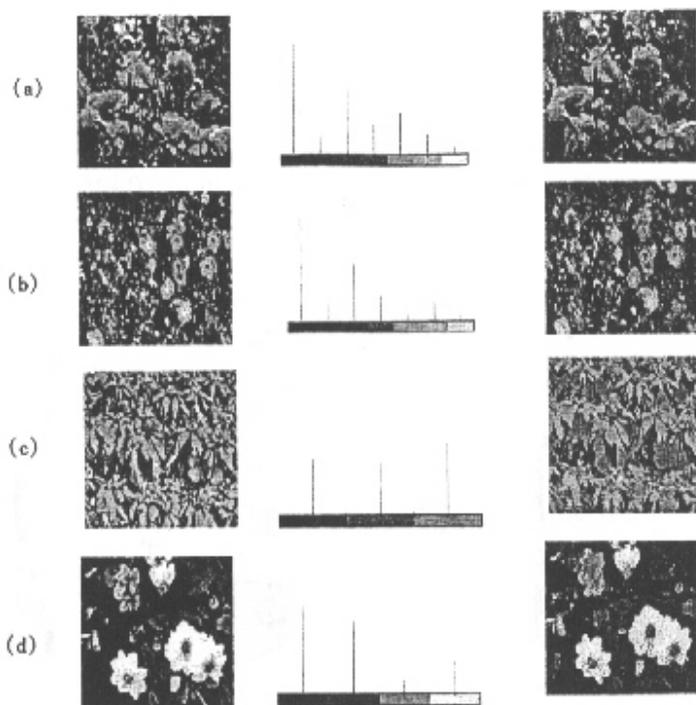


图2 实验结果

Fig.2 Experiment results

得到候选图像后再进行 EMD 计算,可以大大减少计算量。

本文提出了一种测量图像相似性的测度,实验证明该方法优良的特性。该测度的应用为基于内容的图像检索,打下优良基础。

参考文献:

- [1] John P Eakins and Margaret E Graham. Content-based Image Retrieval[R],A report to the JISC Technology Applications Programme ,Institute for Image DataResearch ,University of Northumbria at Newcastle ,January 1999
- [2] Du-Sik. Image Indexing using Color Histogram in the CIELUV Color Space[J]. Signal Processing Lab. ,Samsung ,A.I.T. ,1999 ,
- [3] T.Bozkaya and Ozsoyoglu , *Distance-based indexing for high-dimensional metric spaces* [J].SIGMOD Record(ACM Special Interest Group on Management of Data) May 1997 26(2) 357-368.
- [4] 欧阳崇森 . 实用最优化技术[M]. 湖北科学技术出版社 ,1984.

