

【文章编号】 1004-1540(2005)04-0311-03

基于子空间近似对称 Hausdorff 分数 图像匹配方法

周幼英

(中国计量学院 理学院, 浙江 杭州 310018)

【摘要】 模板匹配方法, 对于如旋转、尺度等变化造成的形变非常敏感, 通常需要利用大量的参考模板进行匹配, 因此匹配速度较慢. 由于不同模板之间的畸变不是很大, 故可以利用子空间近似的方法, 利用特征分解得到模板集的特征子空间, 然后利用特征子空间近似表示模板集. 笔者考虑到子空间近似的特点, 利用对称 Hausdorff 分数的表示方法, 使得与模板相匹配图像特征向量空间和根据模板得到的特征向量空间基本一致, 从而提高了匹配效率.

【关键词】 子空间近似; 对称分数 Hausdorff; 图像匹配

【中图分类号】 TP393

【文献标识码】 A

Symmetrical partial Hausdorff image matching method on sub-space approximation

ZHOU You-ying

(College of Sciences, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Template matching is sensible to the distortion of image rotation and scaling. The speed of template matching is degraded when a large number of templates is used. The sub-space image matching is used via the tiny distortion of different templates. The eigenvector-space is used to present the template group. The symmetrical partial Hausdorff algorithm with subspace approximation is presented here, with the advantage of the eigenvector space of template group, to improve the efficiency of image matching.

Key words: sub-space approximation; symmetrical partial Hausdorff; image matching

Hausdorff 分数是 Hausdorff 方法的一种, 它利用图像的边缘点集之间的距离进行匹配, 相比于直接利用图像的灰度信息进行匹配的方法, 不仅匹配速度有较大的提高, 而且对于光照变化, 以

及部分遮挡都能取得良好的效果. 模板匹配方法, 对于如旋转、尺度等变化造成的形变非常敏感, 通常需要利用大量的参考模板进行匹配, 因此匹配速度较慢. 由于不同模板之间的畸变不是很大, 故

【收稿日期】 2005-09-26

【作者简介】 周幼英(1964—), 女, 浙江诸暨人, 硕士. 主要研究方向为应用软件、计算机图形学、自动网格剖分等.

可以利用子空间近似的方法,利用特征分解得到模板集的特征子空间,然后利用特征子空间近似表示模板集.特征子空间的维数远远小于模板数量时,可以大大提高匹配的速度^[1-4].

1 对称 Hausdorff 分数

基于图像特征点的图像匹配算法,通常是首先找到点点之间的对应,然后计算对应点之间的相似性度量来确定图像匹配与否.这种方法计算复杂度高,而且当特征点的数目超过一定数目和参数变换空间维数很高时,计算时间将成倍增加,而且不稳定. Hausdorff 距离计算二点集之间的最大距离,所以可以有效处理含有很多特征点的情况,计算实时性高,是衡量二点集相似性的有效度量.考虑到部分 Hausdorff 距离的概念,它可以有效地处理当图像目标发生遮掩和外部点存在的情形.设点集 A, B , 则点集 A, B 之间的 Hausdorff 距离可定义为

$$h(A, B) = \max_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\| \quad (1)$$

只有当 A 中的任意点在 B 中都存在距离很近的点时,而且 A 中的点在 B 中存在距离很近的点,才会很小.但是在图像匹配中,若一图像中的目标被遮掩,显然由上述定义的 Hausdorff 距离将会变得很大,而实际上两图像是匹配的.为此引入部分 Hausdorff 距离的概念,定义如下:

$$h^{Kth}(A, B) = K \min_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\| \quad (2)$$

实际应用中,通常把 K 转化为所占的分数表示,即 $f = \frac{K}{|A|}$, 其中 $|A|$ 为集合 A 中的元素数, $0 \leq f \leq 1$. 固定距离 d , 利用比例 f 作为 Hausdorff 距离的度量,也叫做 Hausdorff 分数

$$h^f(A, B) \leq d \quad (3)$$

分数 Hausdorff 方法的计算可以通过将模板边缘膨胀 d , 然后计算图像边缘和膨胀后的模板边缘相交的比例.

$$\Phi_d(A, B) = \frac{\#(A \wedge B^d)}{A} \quad (4)$$

式(4)中, $\#(A)$ 表示点集 A 中点的数量, B^d 表示 B 膨胀 d . 为了更有效地利用子空间近似的方法,对以上计算方法进行了修改,将图像和模板地边缘各自膨胀 $d/2$, 这样与模板相匹配的图像之特征向量空间和根据模板得到的特征向量空间基本

一致,从而提高了匹配效率.我们认为对称分数 Hausdorff 度量可以由下式表示

$$\Phi_d(A, B) = \frac{\#(A^{d/2} \wedge B^{d/2})}{A} \quad (5)$$

2 子空间近似^[1]

给定一系列二维图像 $I_n, 1 \leq n \leq N$, 令 x_m 为 I_m 的一维向量表示为, 得到 $M \times N$ 的矩阵 $X = [x_1 - c, \dots, x_N - c]$. 其中 x_m 是 I_m 的一维向量表示, c 是 x_m 的平均值,

$$c = \sum_{m=1}^M x_m \quad (6)$$

令 e_i 为矩阵 $X^T X$ 的正交特征向量, λ_i 为与 e_i 相对应的特征向量, 其中 $1 \leq m \leq M, \lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_M$, 定义矩阵 E 为特征向量矩阵 $[e_1, \dots, e_M]$. 令 $g_m = E^T(x_m - c)$, 这样 x_m 就可以用正交基 e_i 表示

$$x_m = \sum_{i=1}^M g_{mi} e_i + c \quad (7)$$

式(7)其中, g_{mi} 表示 g_m 中第 i 个元素. 这里有一个近似表示, 对于任一模板利用特征值较大的前 K 个特征向量, 而不是所有的 M 个特征向量表示. 令 $f_m = (g_{m_1}, \dots, g_{m_k}, 0, \dots, 0)$

$$x'_m = \sum_{i=1}^K f_{mi} e_i + c \quad (8)$$

子空间方法的基本思就是将待匹配模板投影到特征值较大的 K 个特征向量组成的子空间 $[e_1, \dots, e_k]$ 上, 这样投影得到的误差为 $\|x'_m - x_m\| = \sum_{i=K}^M g_m^2$.

3 Hausdorff 分数的子空间表示

这里讨论如何利用子空间近似表示 Hausdorff 分数. 给定二值图像 I_m 和 I_n, x_m 和 x_n 分别为 $I_m^{d/2}$ 和 $I_n^{d/2}$ 的一维向量表示, 这样对于 I_m 和 I_n 的分数 Hausdorff 距离通过下式计算 $\Phi_d(A, B) = \frac{x_m^T x_n}{\|x_m\|^2}$, 接下来的问题就是如何计算

$$\begin{aligned} \Phi_d(A, B) &= \frac{x_m^T x_n}{\|x_m\|^2}, \text{ 接下来的问题就是如何计算} \\ \Phi_d(A, B) &= \frac{x_m^T x_n}{\|x_m\|^2}. \text{ 令 } E \text{ 为 } X^T X \text{ 的特征向量矩阵, 其中 } c \text{ 为} \\ &\text{模板集的平均向量, } g_m = E^T(x_m - c), g_n = E^T(x_n - c). \text{ 则有} \\ x_m^T x_n &= (x_m - c + c)^T (x_n - c + c) \\ &= g_m^T g_n + x_m^T c + x_n^T c - \|c\|^2 \quad (9) \end{aligned}$$

利用子空间近似的方法,则有 $x_m^T x_n \approx f_m^T f_n + x_m^T c + x_n^T c - \|c\|^2$, 而 $g_m^T g_n \approx (f_m^T r^T (f_n + r_n) = f_m^T f_n + r_m^T r_n$, 这里不同特征向量之间正交, 所以有 $f_m^T r_n = 0$. 子空间近似的误差为 $g_m^T g_n - f_m^T f_n = r_m^T r_n$.

接下来将详细描述利用子空间近似的方法, 利用分数 Hausdorff 度量进行匹配的步骤.

(1) 首先根据模板的二值边缘图构造特征向量矩阵. I_1, \dots, I_M 为模板的二值图, x_1, \dots, x_M 为 $I_1^{d/2}, \dots, I_M^{d/2}$ 对应的一维向量, c 为平均向量. 定义矩阵 $X = [x_1 - c, \dots, x_M - c]$, 计算 $X^T X$ 的特征向量矩阵为 E , 并得到前 K 个特征矢量.

(2) 对于每个模板, 计算 $f_m = [g_{m1}, \dots, g_{mK}]$, 这里 $g_{mi} = E^T(x_i - c)$. 对每个模板, 还需要计算 $x_m c$ 和 $\|x_m\|^2$.

(3) 对于未知的匹配图像, 首先对其二值边缘图膨胀 $d/2$, 得到其一维表示为 x_n' , 则需要计算 $f_{n'} = [g_{n'1}, \dots, g_{n'K}]$, 其中 $g_{n'i} = E^T(x_{n'} - c)$; 同样还需要计算 $x_{n'} c$.

(4) 这样, 分数 Hausdorff 距离的子空间近似为
$$\Phi(x_m, x_{n'} = \frac{f_m^T f_{n'} + x_m^T c + x_{n'}^T c - \|c\|^2}{\|x_m\|^2}.$$

4 子空间对称 Haudorff 匹配时间

在模板匹配中, 当考虑到旋转、尺度变化引起的畸变时, 需要大量的参考模板. 设参考模板数量为 N 个, K 为特征向量子空间中特征向量的数目. 传统的模板匹配方法是把所有的参考模板和待匹配图像一一进行匹配, 其匹配时间与参考模板数量 N 成正比. 而利用子空间的方法, 则匹配时间和子空间近似中与保留的特征向量的数量 K 成正比. 当 $N \gg K$ 时, 匹配时间能得到大量的提高, 而当 N 和 K 相差不大或者甚至 $N < K$ 时就没有太大的意义. 一般来说, 当参考模板之间有一定相似性时, 当训练模板数量越多, 子空间方法就越有其优势. 图 1 表示了传统的分数 Hausdorff 方法、子空间分数 Hausdorff 方法的匹配时间以及和模板数量的关系.

在非对称分数 Haudorff 距离表示中, 只是对模板的边缘进行膨胀, 然后利用膨胀后的模板边缘图得到特征向量子空间. 这样, 由于图像边缘没有进行膨胀, 所以在子空间近似中效果并不是很

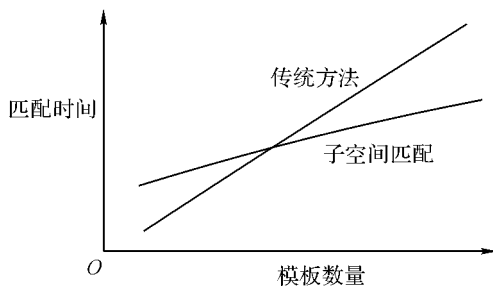


图 1 传统方法和子空间方法运行时间比较

好. 笔者在本文提出了对称 Haudorff 分数, 对图像和模板的边缘图都进行了 $d/2$ 的膨胀, 故能够利用模板的特征向量很好的近似表示图像, 从而取得良好的匹配效果.

5 实验结果

我们在 Intel PII300, Windows 2000, VC++ 6.0 环境下对 512×480 测试图像, 64×64 模板, 旋转角度范围为 $0 \sim 360^\circ$ 进行测试. 对于旋转图像, 如果旋转角度精度要求为 θ , 则为达到此精度要求, 用于匹配的模板数量至少需要 $360^\circ/2\theta$. 以下是带匹配图像与匹配模板的示意图.

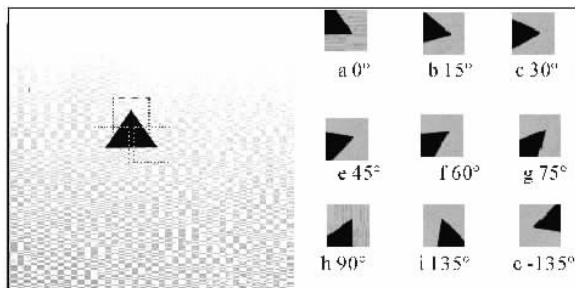


图 2 图像和其旋转模板

表 1 传统方法和子空间法匹配时间和匹配精度比较

要求匹配精度 (角度)	匹配时间		匹配精度	
	传统方法	子空间法	传统方法	子空间法
20°	1.5	2.3	8.8°	6.°0
10°	3.1	2.5	6.3°	7.2°
5°	6.5	2.6	2.9°	3.5°
1°	35.2	2.9	3.4°	0.5°

从表 1 可以看到, 随着精度要求的提高, 子空间的匹配方法计算优势体现非常明显. 对于算法而言, 基于子空间的匹配方法也更为稳定.

(下转第 324 页)

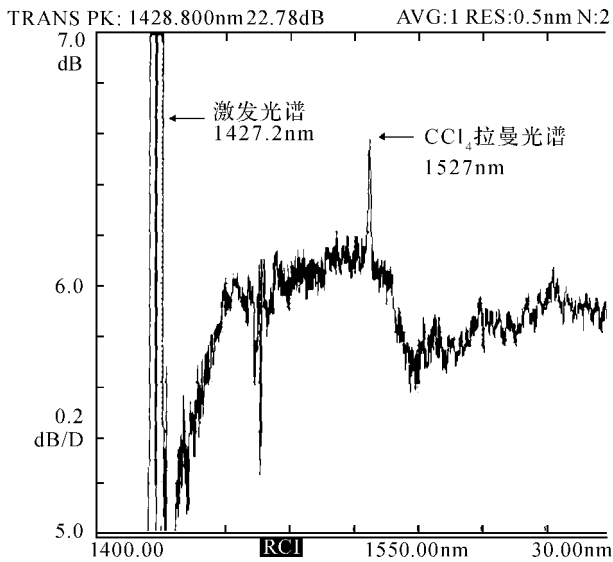


图4 液芯光纤拉曼谱图

另外我们还测量了 CCl_4 液芯光纤的散射谱线的强度与光纤的长度的关系^[3,4], 也存在一个最佳长度 2.5 m.

3 结论

我们研制出了有机液芯光纤, 并对光纤的拉曼光谱进行了测量, 得到了目前在通信 C 波段的拉曼散射光谱测试. 从结果可以看出, 有机液芯材料光纤的研制, 有助于对有机材料的拉曼放大作用实验进一步开展.

【参考文献】

- [1] 谷怀民, 邢 达. 液芯波导在拉曼光谱研究中的应用及其研究进展[J]. 量子电子学, 2003, 20(4): 391-396.
- [2] 金尚忠. 光纤拉曼散射及其应用研究[J]. 激光与红外, 2002, 32(5): 327-329.
- [3] ROBERT ALTKORN, MICHELLE DUVAL MALINSKY, et al. Intensity considerations in liquid core optical fiber Raman spectroscopy[J]. Applied Spectroscopy, 2001, 55(4): 373-381.
- [4] CHRAPLYVY A R, TBRIDGES T J. Infrared generation by means of multiple-order stimulated Raman scattering in CCl_4 -and CBrCl_3 -filled hollow silica fibers[J]. Optics Letters, 1981, 6(12): 632-633.

(上接第 313 页)

6 小结

本文结合对称 Hausdorff 距离, 利用子空间近似的方法, 通过特征分解得到模板集的特征子空间, 然后利用特征子空间近似表示模板集. 实验证明, 在图像定位精度较高时, 子空间方法相比于传统的匹配方法, 在匹配速度和精度上都有其特点.

【参考文献】

- [1] DUNIEL P HUTTERNLONCHER, RYAN H LILIEN,

CLARK F OLSON. Object reonition using subspace methods proc[C]. European Conference on Computer Vision, 1996.

- [2] KOZIN M B, SVERGUN D I. Automated matching of high- and low-resolution structural models [J]. J Appl Cryst, 2001, 34: 33-41.
- [3] DANIEL P HUTTENLOCHER, RYAN H LILIEN, CLARK F. View based recognition using an eigenspace approximation to the Hausdorff measure[J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1999, 21(9): 951-955.
- [4] CHOU F D, FAN K C, CHANG Y L. Efficient matching of large-size histograms[J]. Pattern Recognition Letters, 2004, 25: 277-286.