

利用仿射变换的快速空间关系验证

汪文英^{1,2)}, 张冬明¹⁾, 张勇东¹⁾, 李锦涛¹⁾

¹⁾(中国科学院计算技术研究所前瞻研究实验室 北京 100190)

²⁾(中国科学院研究生院 北京 100049)

(wangwenying@ict.ac.cn)

摘要: 为了合理利用视觉关键词之间的空间关系,以提高基于视觉关键词的对象检索方法的准确度,提出一种利用仿射变换进行空间关系验证的算法。首先通过视觉关键词仿射协变的邻近特征集进行初步空间关系一致性匹配;然后计算对应仿射协变区域的多组可能的仿射变换矩阵,并选择满足区域匹配最多的变换矩阵作为对象与图像之间最终仿射变换矩阵,其中,仅利用一对协变区域来计算自由度为 6 的仿射变换的算法有效地提高了计算速度和鲁棒性;最后通过计算出的仿射变换矩阵来精确验证对象与图像之间的空间位置关系是否一致。实验结果表明,与现有方法相比,文中算法更鲁棒,能以较低的计算开销显著地提高基于对象的实时图像检索的准确度。

关键词: 对象检索;仿射变换;视觉关键词;空间关系验证

中图分类号: TP391.3

Fast Spatial Verification with Affine Transformations

Wang Wenying^{1,2)}, Zhang Dongming¹⁾, Zhang Yongdong¹⁾, and Li Jintao¹⁾

¹⁾(Center for Advanced Computing Research, Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190)

²⁾(Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

Abstract: A fast spatial verification scheme using affine transformations is proposed to improve the retrieval precision by exploiting proper spatial constraints among visual key words. Firstly, affine covariant neighborhoods of visual words are used to verify the spatial consistency. Secondly, a set of affine transformation matrices between the corresponding covariant regions is calculated, and the matrix with the most inliers is chosen as the best matching affine transformation matrix (BMATM). In this step, only a single pair of corresponding affine covariant regions is used to calculate the 6 degree of freedom (DOF) affine transformation for acceleration. In the last step, the spatial consistency is verified by the BMATM. Experimental results show that this scheme is more robust, more accurate and faster in compare with the state-of-the-art approaches.

Key words: object-based image retrieval; affine transformations; visual words; spatial verification

随着数字图像数量的爆炸式增长和大容量存储器的广泛使用,基于对象的图像检索技术成为计算机视觉领域的研究热点之一。其主要目标是设计出一种快速且准确的方法,以从大规模的图像数据库

中挑选出包含指定对象的图像集。

由于基于视觉关键词的对象检索方法对光照变化、旋转缩放以及部分遮挡等都有很强的鲁棒性,它已成为近年来对象检索中的最受欢迎的检索方法。

收稿日期:2009-04-02;修回日期:2009-07-17。基金项目:国家“九七三”重点基础研究发展计划项目(2007CB311100);国家“八六三”高技术研究发展计划(2007AA01Z416);国家自然科学基金(60873165,60802028);北京市科技新星计划项目(2007B071);北京市教育委员会共建项目。汪文英(1982—),男,博士研究生,主要研究方向为多媒体内容分析和检索;张冬明(1977—),男,博士,副研究员,硕士生导师,CCF 会员,主要研究方向为视频编解码、视频分析和检索;张勇东(1973—),男,博士,副研究员,博士生导师,CCF 高级会员,主要研究方向为视频编解码、视频分析和检索;李锦涛(1962—),男,博士,研究员,博士生导师,CCF 高级会员,主要研究方向为数字媒体处理、虚拟现实、普适计算等。

该方法首先提取仿射协变的特征区块^[1-2],通过特征区块描述子得到特征区块特征向量,并将特征向量通过 K-means 等方法进行聚类量化成为视觉关键词;然后通过将图像和对象表示成视觉关键词集合的方式进行检索^[3].该方法不依赖于图像分割技术,且对各种条件变化都有很强的鲁棒性,但由于抛弃了视觉关键词之间的空间位置信息,往往区分度不够高.

利用特征之间的空间位置信息提高图像检索的效率和准确度以适应大规模数据库检索的需求成为研究热点^[4-6],其中通过图像之间的仿射变换的计算来精确验证对象之间的特征匹配是一种有效方法^[5,7].仿射变换的计算通常采用 RANSAC 算法,用不共线的 3 组对应特征点联立线性方程组来计算仿射变换^[7].为了提高仿射变换计算的速度,Philbin 等^[5]通过 LO-RANSAC 算法计算仿射变换,首先假设图像视角不会发生较大变化等限制条件,利用每一组对应仿射协变区块来计算图像之间的自由度受限的仿射变换;然后利用前一步的结果计算不带强假设的仿射变换.然而该算法使用了较强的假设条件,限制了其在对象检索中的应用.

本文提出了一种新的利用仿射变换进行空间关系验证的快速算法.首先,提出了基于仿射协变的邻近特征集的特征匹配算法,以提高特征初步匹配的准确度;然后,提出了一种利用每一组对应仿射协变区块形状特征计算仿射变换的快速算法,并最终选择满足特征点最多的仿射变换,有效地提高图像检索的速度和准确度.

1 基于仿射变换验证的图像检索方法

本文提出的基于空间关系验证的对象检索方法总体框架如图 1 所示.在预处理阶段进行特征区块检测,提取视觉关键词,并建立基于视觉关键词的索引文件.在检索阶段,首先采用视觉关键词词频的方

法进行初始检索,得到少量图像组成的候选图像集;然后通过仿射协变邻近特征集和仿射变换的估计进行空间关系验证,将所选图像进行重新排序,得到最终检索结果.这种分层检索方法有利于在满足实时性的要求下提高检索准确度.

在基于视觉关键词词频的图像检索方法中,完全丢弃了图像特征之间的空间相对位置关系,为了提高检索的准确度,通常采用验证空间关系的方法来验证特征之间的匹配关系^[3,5].本文首先通过仿射协变的邻近特征集计算每一对匹配的支持度;然后通过仿射变换的估计来进行空间关系验证;使用满足该仿射变换的特征数来衡量对象与图像之间匹配的程度,从而对检索的初始结果进行重新排序,得到最终的检索结果.

1.1 视觉关键词的提取

本文通过 MSER 算法^[2]检测局部区块,并使用 SIFT 特征^[8-9]作为区块描述子.通过对对象和图像上的局部区块描述子的量化,得到对象和图像数据库中的视觉关键词集合.视觉关键词可以使用一个三元组来表示 $f_i = (w_i, X_i, \Sigma_i)$;其中, w_i 表示局部区块描述子经过量化后得到的单词标识, $X_i = (x_i, y_i)^T$ 为视觉关键词 f_i 在图像上的坐标, Σ_i 描述了局部区块的形状.描述局部区块的形状的椭圆方程为 $(X - X_i)^T \Sigma_i^{-1} (X - X_i) = 1$.

假定待检索对象为视觉关键词的集合 $O = \{f_{o1}, f_{o2}, \dots, f_{on_o}\}$, n_o 为对象中视觉关键词的个数.同样,数据库中的某一待匹配的检索图像也可以表示成为视觉关键词的集合 $T = \{f_{t1}, f_{t2}, \dots, f_{tn_t}\}$, 其中 n_t 为图像中包含视觉关键词的个数.这样,局部区块的局部描述子经过量化就形成了一个基础的匹配集

$$match_{\min}(O, T) = \{ \langle f_{oi}, f_{ti} \rangle \mid f_{oi} \in O \wedge f_{ti} \in T \wedge w_{oi} = w_{ti} \}.$$

1.2 基于空间一致性的区块匹配

由于视觉关键词由区块特征向量集通过聚类并量化的方式产生,所以它不能够精确地将各种相似特征区分开,通常可通过特征区块之间的空间一致性提高匹配的准确度.文献[3]中使用 KNN 算法分别求出对应特征点的最近 K 个邻近特征,并通过 K 个邻近特征的交集来衡量空间一致性.基于空间上下文^[10]的匹配方法,通过仿射协变性的空间邻域得到自适应的多层空间上下文描述,然后使用 Fuzzy-EMD 距离度量方法计算空间上下文相似性.前一种方法虽然计算简单,但是未考虑到仿射协变区块的

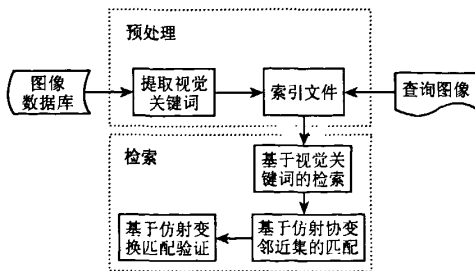


图 1 基于快速空间关系验证的对象检索方法框架图

仿射协变性,且所有邻近特征都具有相同的权重;后一种基于空间上下文的方法匹配更加准确,但计算复杂度有所增加。

本文采用仿射协变的邻近特征集的方法提高 $match_{ini}$ 的准确度。对于视觉关键词 f_k ,同一图像中的其他局部区块与它的距离可以采用仿射协变的 Mahalanobis 距离,即

$$AffineDist(f_i, f_k) = [(X_i - X_k)^T \Sigma_k^{-1} (X_i - X_k)]^{\frac{1}{2}}$$

通过仿射协变的距离计算方法可以得到 f_k 最近的 K 个特征作为仿射协变邻近特征集,从而得到视觉关键词 f_k 的仿射协变邻近特征集

$$N(f_k) = \{f_i \mid AffineDist(f_i, f_k) \leq d_{Kth} \wedge f_i \in I \wedge i \neq k\}$$

其中, I 表示对象 O 或者检索图像 T ; d_{Kth} 为一个距离阈值,为了得到最近的 K 个特征区块,将它动态地设为第 K 个最近的距离值。对于 $match_{ini}(O, T)$ 中的每一个初始匹配 $\langle w_{oi}, w_{ti'} \rangle$,都可以得到一个仿射协变的支持集

$$Support(\langle f_{oi}, f_{ti'} \rangle) = \{\langle f_{ok}, f_{tk'} \rangle \mid f_{ok} \in N(f_{oi}) \wedge f_{tk'} \in N(f_{ti'}) \wedge \langle f_{ok}, f_{tk'} \rangle \in match_{ini}\}$$

仿射协变区块之间可以通过对应邻近特征集的支持集 $Support(\langle f_{oi}, f_{ti'} \rangle)$ 来度量特征之间的空间一致性,从而得到一个空间一致性匹配集

$$match_{spatial}(O, T) = \{\langle f_{oi}, f_{ti'} \rangle \mid \langle f_{oi}, f_{ti'} \rangle \in match_{ini}(O, T) \wedge |Support(\langle f_{oi}, f_{ti'} \rangle)| \geq th\}$$

其中 $|Support(\langle f_{oi}, f_{ti'} \rangle)|$ 表示支持集的大小,称为支持度, th 为设置的一个阈值。

1.3 仿射变换计算算法

通过计算图像之间的仿射变换来精确验证对象之间的特征匹配是一种验证空间位置一致性的有效方法^[5,7]。本文分析了现有算法中存在的问题,并提出了一种新的快速仿射变换计算算法。

1.3.1 LO-RANSAC 算法

现有方法通过 RANSAC 进行随机采样的方法来计算仿射变换,通过多次迭代挑选出满足特征点最多的仿射变换来进行估算。

为了提高空间关系验证中仿射变换计算的速度,达到实时要求,Philbin 等^[5]提出一种基于 LO-RANSAC 算法的快速仿射变换算法。该算法通过 2 步来进行仿射变换计算:首先,通过假设互联网中大部分图像不会发生较大视角变化等限制条件,在限制仿射变换的自由度(degree of freedom, DOF)的条件下,利用每一组对应仿射协变区域估计图像之间的受限仿射变换,得到初始的仿射变换和初始的特

征匹配;然后根据前一步骤得到的匹配,通过局部优化步骤计算出不带假设的 6 DOF 的仿射变换,其中 5 DOF 的仿射变换是通过 2 个仿射协变区块的归一化求得垂直切变的仿射变换。在归一化变换中,将 $(0, 1)^T$ 作为归一化变换的特征向量,仿射协变区块与归一化的单位圆形区块保持相同的正立姿势,如图 2a 所示。

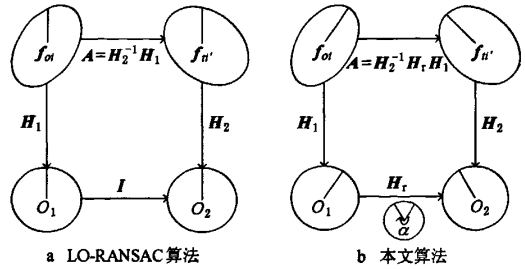


图 2 仿射变换示意图

Philbin 等^[5]的 LO-RANSAC 算法能够通过每一组对应仿射协变区块计算自由度受限的仿射变换。然而由于自由度受限的仿射变换只能描述平移和垂直方向的切变,在实际图像数据库中,图像由于视角的变化往往会发生旋转和各向切变,甚至发生翻转。在这些发生较大角度变化的情况下,该算法就不能得到近似正确的初始仿射变换,这种较强的假设严重限制了其在图像检索中的应用。

1.3.2 快速仿射变换计算算法

本文设计了一种利用一组对应仿射协变区块形状快速计算不带假设的(6 DOF)仿射变换的方法。对于 $match_{spatial}(O, T)$ 中的每一组匹配 $\langle f_{oi}, f_{ti'} \rangle$ 都可以计算出一种仿射变换 $A_{ti'}$,并将 $A_{ti'}$ 满足的视觉关键词的个数作为衡量该仿射变换的标准,即

$$inlier(A_{ti'}) = \{\langle f_{ok}, f_{tk'} \rangle \mid \|A_{ti'} \cdot \tilde{X}_{ok}, \tilde{X}_{tk'}\| \leq d_{th} \wedge \langle f_{ok}, f_{tk'} \rangle \in match_{ini}\}$$

其中, $\|\cdot\|$ 表示欧氏方程, \tilde{X} 表示齐次坐标。本文选择满足视觉关键词最多的仿射变换 $A_{obest, tbest}$ 为最终对象到图像的仿射变换,并用 $|inlier(A_{obest, tbest})|$ 来度量对象与图像之间视觉关键词空间关系匹配的程度。

对于仿射协变区块 f_{oi} 和 $f_{ti'}$,通过

$$X^T \Sigma_i^{-1} X = X^T (C_i C_i^T)^{-1} X = X^T (C_i R_i R_i^T C_i^T)^{-1} X = 1, t = oi, ti' \quad (1)$$

对仿射协变区块的形状特征进行分解。其中, C_i 表示对椭圆区域的归一化, R_i 表示一定角度的旋转。可以看出,归一化之后得到的单位圆区域发生任何

的旋转都不会改变其原本形状特征 $\Sigma_i (t=oi, ti')$ 。从而, 对应仿射协变区块之间的仿射变换

$$A(\langle f_{oi}, f_{ti'} \rangle) = C_{oi} R_{ti'} R_{oi}^{-1} C_{oi}^{-1}$$

由此将仿射变换分解为归一化变换 H_1 (对应 C_{oi}^{-1})、旋转变换 H_r (对应 $R_{ti'} R_{oi}^{-1}$) 和还原变换 H_2^{-1} (对应 C_{oi}) 3 个变换步骤, 如图 2 b 所示。

在如图 2 b 所示的仿射变换算法中, 准确计算经过仿射区块归一化变换之后的单位圆形区块 O_1 与 O_2 之间的旋转角度 α 尤为重要。由式(1)可以看出, 归一化变换之后单位圆区域发生任何的旋转变换都不会改变其原本形状特征 $\Sigma_i (t=oi, ti')$, 所以要精确计算出图像之间的仿射变换, 必须借助其他信息来确定仿射协变区块之间的旋转角度。

通常的方法是使用特征区块描述子中区块的方向来计算旋转角度。如在 SIFT 描述子中, 将梯度方向直方图的主能量值作为该区块的方向^[11]。使用这种方法存在 2 个不足: 1) 方向已经被量化到数量有限的离散值, 使得方向不够准确; 2) 存在多个方向且无法确定对应关系时会得出多个可能的旋转角度, 从而增加计算的复杂度。

本文提出了一种参考仿射协变邻近特征集来精确计算仿射协变区块之间旋转角度的方法。在第 1.2 节中介绍的基于空间一致性的区块匹配方案中, 经过空间关系验证得到的匹配集 $match_{spatial}(O, T)$ 中, 每一组空间一致性的匹配 $\langle f_{oi}, f_{ti'} \rangle$ 都有一组支持其匹配的支持集 $Support(\langle f_{oi}, f_{ti'} \rangle)$ 。如图 3 所示, 对于一组匹配的仿射协变区块 $\langle f_{oi}, f_{ti'} \rangle$, 存在着 $n(K \geq n \geq th)$ 组邻近特征 $\{\langle N_{i1}, N_{i1'} \rangle, \langle N_{i2}, N_{i2'} \rangle, \dots, \langle N_{im}, N_{im'} \rangle\}$ 的支持。

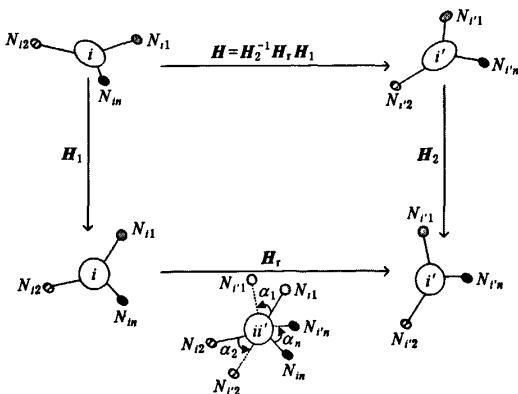


图 3 参考邻近特征集的旋转变换计算方法

仿射协变区块的归一化变换有 2 个步骤, 首先将区块的中心平移到 x, y 坐标的原点, 然后将椭圆

区域转换成单位圆形区块。经过仿射协变区块的 i 和 i' 的归一化变换之后, $f_{oi}, f_{ti'}$ 将会重叠在单位圆上, 得到一个旋转夹角 $\alpha_k = \angle N_{ik} O_{i'} N_{i'k}$, 其中 $O_{i'}$ 表示仿射协变区块 f_{oi} 和 $f_{ti'}$ 经过归一化之后重叠的单位圆区块。对于有 $n(n \geq th)$ 组邻近特征支持的仿射协变区块的匹配, 将会得到 n 种旋转夹角 $\{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\}$, 从而实现了从位置空间向旋转角度参数空间的转换。通过哈夫变换得到最佳的旋转夹角 $\alpha_{ii'}$, 进而得到该组匹配 $\langle f_{oi}, f_{ti'} \rangle$ 对应的仿射变换为 $A_{ii'} = H_2^{-1} H_r H_1$, 其中,

$$H_r = \begin{bmatrix} \cos \alpha_{ii'} & -\sin \alpha_{ii'} \\ \sin \alpha_{ii'} & \cos \alpha_{ii'} \end{bmatrix}$$

与文献[5]中基于 LO-RANSAC 算法的仿射变换算法相比, 本文算法有 3 个优点: 1) LO-RANSAC 算法通过一组对应仿射协变区块计算出的受限制的仿射变换, 需要进一步通过优化步骤计算 6 DOF 的仿射变换; 而在本文算法中, $match_{spatial}(O, T)$ 中的每一组对应的仿射协变区块都能计算出 6 DOF 仿射变换, 最终选择满足特征最多的仿射变换作为结果, 所以其计算量更小。2) 文献[5]中也使用到了归一化变换, 但其中归一化变换中将 $(0, 1)^T$ 设为归一化变换的特征向量, 以保证仿射协变区块与归一化的单位圆形区块保持相同的正立姿势; 而在本文算法中归一化变换由仿射协变区块定义, 没有使用较强的假设条件。3) 本文增加了旋转变换, 这是由于本文算法没有限制归一化变换保持正立姿势, 准许图像之间发生较大的视角变化, 所以本文算法更加鲁棒。

2 实验及结果分析

本文通过识别基准的数据库^[4-5]来测试比较对象检索算法。该图像数据库包含 10 200 幅图像, 其中每 4 幅一组, 为同一个场景不同视角、不同光照条件下的图像。选择这样的图像集是因为其中包含了大量物体, 贴近实际的图像检索的应用。实验平台为 P4 3.2 GHz CPU, 1.5 GB 内存的计算机。在实验中, 随机圈出 150 个矩形区域作为检索对象, 检索效果通过同一组的 4 幅图像上的对象被检索并排在前 4 名的比率来衡量。

我们将本文方法与 VideoGoogle^[3]中 KNN 算法和快速仿射变换验证检索算法^[5]进行比较。为了比较的公平性, 在所有的检索方法中使用相同的 MSER 特征、相同的 SIFT 128 维描述子和相同的

视觉词典. 在前处理过程中,通过 MSER 提取最大稳定连通区域的方式提取约 10^7 个仿射协变局部区块以及相应的 SIFT 描述子,然后通过随机选取 10^5 个局部描述子进行 K-means 聚类,形成大小为 10^3 的视觉关键词词典,其中特征提取大约花费 2 d 的时间.

在本文算法和文献[5]算法的比较中,通过分别提取基于视觉关键词的检索方法中的前 200,400,600 和 800 个图像进行验证并重新排序,其中仿射协变空间邻近特征的选择中 K 取为 10, th 取为 3, d_{th} 取为 4. 文献[5]算法中首先通过 5 DOF 的仿射估计出最佳的仿射变换,然后通过 LO-RANSAC 算法计算出 6 DOF 的完全仿射变换来进行验证. 通过图 4 可以看出,本文算法比文献[5]算法有显著的改善,由于文献[5]算法对仿射变换进行了较强的假设,而本文测试数据库中图像多来自不同视角,发生如图 4 所示的较大角度的旋转甚至翻转,所以其对检索的准确度的提高很有限. 采用本文算法进行检索的计算时间随对象包含的视觉关键词的数目变化,由图 5 可以看出,当分别从前 200,400,600 和 800 个图像中进行估计仿射变换时,检索时间基本上与匹配的图像数保持线性关系,且平均检索时间保持在 1 s 以内,能够满足实时性的要求.

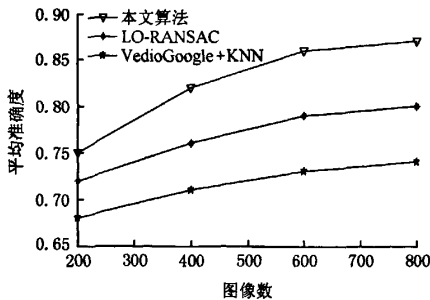


图 4 平均检索准确度

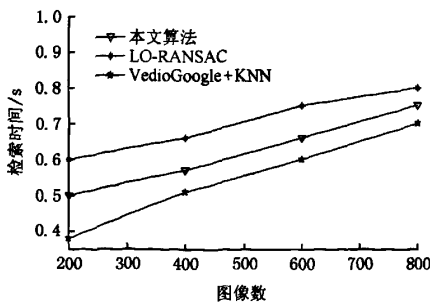


图 5 平均检索时间

从图 6 a 中可以看出,若不通过空间一致性检验,视觉关键词之间存在大量的误匹配;图 6 b~6 c 所示为通过提取 10 个近邻并限制支持集大于 3 的方式进行空间一致性匹配,再进行仿射变换计算的结果. 图 6 b 所示为本文算法得到的仿射变换图,可以看出,虽然图像发生了较大强度的旋转和切变,但每一组对应的仿射协变区块可以基本准确地确定仿射变换,且每组对应特征确定的仿射变换有较好的一致性. 图 6 c 中由于图像有较大的视角变化,导致文献[5]中 5 DOF 的方法不能计算出近似正确的仿射变换,从而导致漏检. 图 7 第一行给出了该对象通过本文算法的检索结果,可以看出,当图像发生较大角度的视角变化时,仍能够准确检索. 而在 LO-RANSAC 算法的检索结果中,靠右边的 2 幅图像被漏检.

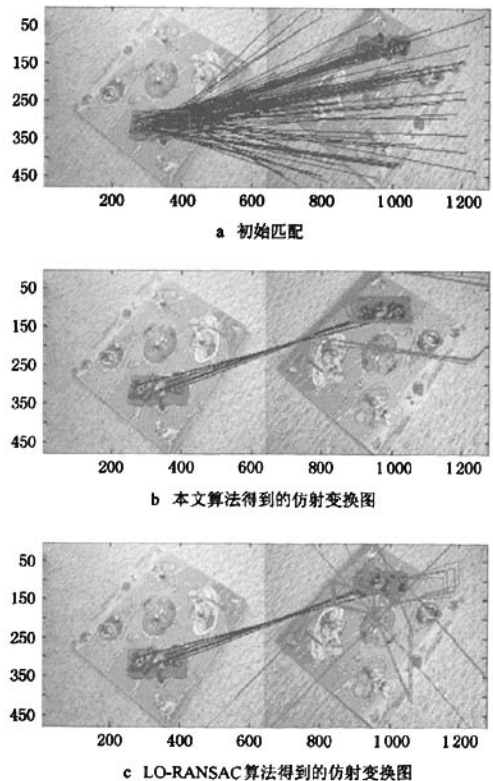


图 6 空间关系示意图

图 7 所示为部分检索结果实例,可以看出,虽然部分图像由于视角的变化发生了较大角度的旋转和切变,但本文算法也能够比较准确地计算出它们之间的仿射变换,从而进一步验证了对象的匹配.

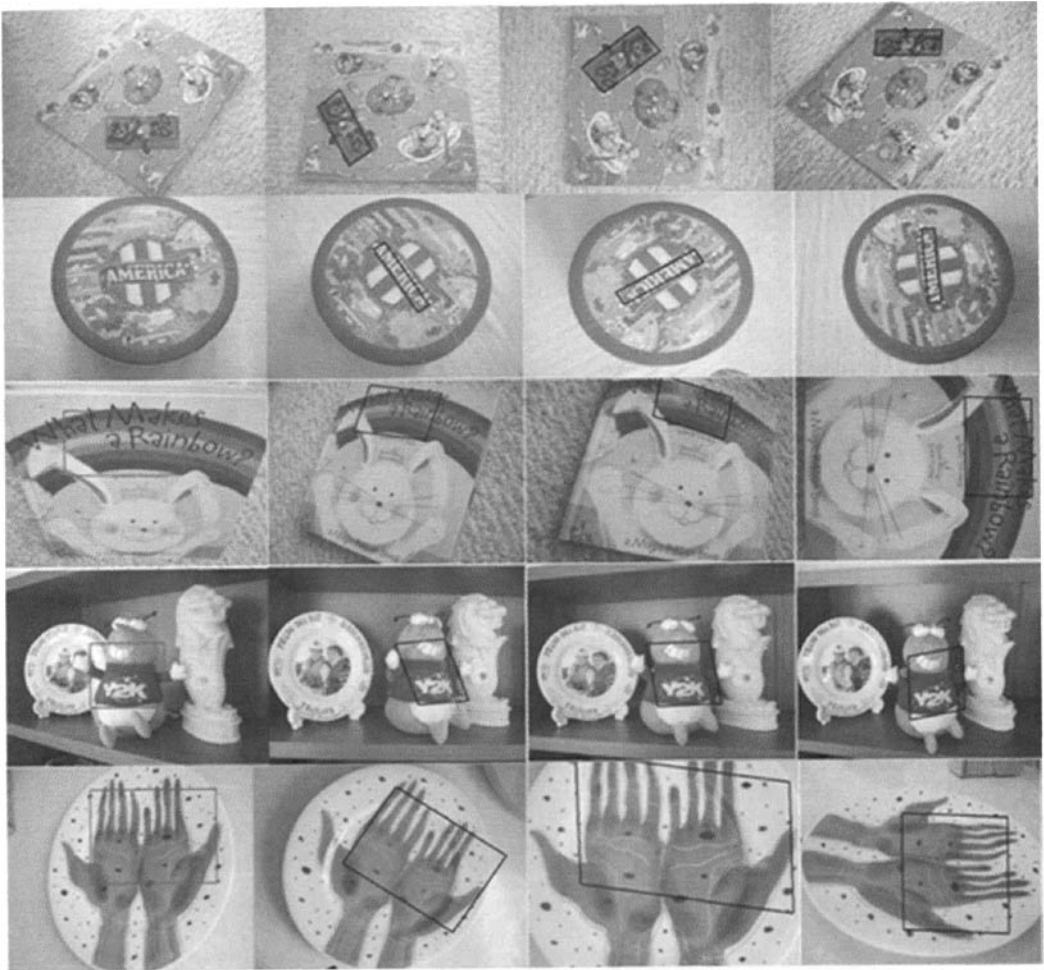


图 7 部分检索结果

3 结 论

为了提高对象检索的准确度和速度,本文提出了一种新的利用仿射变换进行空间关系验证的快速算法.首先通过仿射协变的空间邻近特征集进行初步匹配,然后通过仿射变换来进行空间关系验证.

与现有方法相比,本文算法有三大优点:1)仿射协变的空间邻近特征集有效地减少了初始误匹配,从而减少了空间一致性验证的无用计算;2)与现有的利用3组对应的特征来计算仿射变换的方法相比,本文提出了利用每一组对应的仿射协变区块计算仿射变换的方法,并选择满足特征点最多的仿射变换作为对象与检索图像之间的仿射变换,从而显著地提高了计算效率;3)与LO-RANSAC算法相比,本文算法不仅效率更高,而且对旋转和各向切变

都有更强的鲁棒性.

实验结果表明,本文算法在保证实时性的条件下,有效地提高了基于对象的图像检索的效率和准确度.

参考文献(References):

- [1] Matas J, Chum O, Urban M, *et al.* Robust wide-baseline stereo from maximally stable extremal regions [J]. *Image and Vision Computing*, 2004, 22(10): 761-767
- [2] Mikolajczyk K, Tuytelaars T, Schmid C, *et al.* A comparison of affine region detectors [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2006, 65(1): 43-72
- [3] Sivic J, Zisserman A. VideoGoogle: a text retrieval approach to object matching in videos [C] // *Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Computer Vision*, Washington D C, 2003: 1470-1477

- [4] Nistér D, Stewénius H. Scalable recognition with a vocabulary tree [C] //Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, New York, 2006; 2161-2168
- [5] Philbin j, Chum O, Isard M, *et al.* Object retrieval with large vocabularies and fast spatial matching [C] //Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Minneapolis, 2007; 1-8
- [6] Zheng Q F, Wang W Q, Gao W. Effective and efficient object-based image retrieval using visual phrases [C] // Proceedings of the 14th ACM International Conference on Multimedia, Santa Barbara, 2006; 77-80
- [7] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2004, 60(2): 91-110
- [8] Mikolajczyk K, Schmid C. Scale & affine invariant interest point detectors [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2004, 60(1): 63-86
- [9] Lowe D G. Object recognition from local scale-invariant features [C] //Proceedings of International Conference on Computer Vision, Kerkyra, 1999; 1150-1157
- [10] Gao Ke, Lin Shouxun, Zhang Yongdong, *et al.* Object-based image retrieval using spatial context [J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2008, 20(11): 1452-1458 (in Chinese)
(高科, 林守勋, 张勇东, 等. 基于空间上下文的目标图像检索[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2008, 20(11): 1452-1458)
- [11] Carneiro G, Jepson A D. Flexible spatial configuration of local image features [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2007, 29(12): 2089-2104

~~~~~

(上接第 624 页)

- [15] Kass M, Witkin A, Terzopoulos D. Snakes: active contour models [J]. *International Journal of Computer Vision*, 1988, 1(4): 321-331
- [16] Montagnat J, Delingette H, Ayache N. A review of deformable surfaces: topology, geometry and deformation [J]. *Image and Vision Computing*, 2001, 19(14): 1023-1040
- [17] Borgefors G. Distance transformations in digital images [J]. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 1986, 34(3): 344-371
- [18] Grevera G J. The "dead reckoning" signed distance transform [J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2004, 95(3): 317-333
- [19] Remy E, Thiel E. Computing 3D medial axis for chamfer distances [M] //Lecture Notes in Computer Science. Heidelberg: Springer, 2000, 1953: 418-430
- [20] Hoppe H, DeRose T, Duchamp T, *et al.* Mesh optimization [C] //Proceedings of the 20th International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, Anaheim, 1993: 19-26
- [21] Song P, Wu X J, Wang M Y. A robust and accurate method for visual hull computation [C] //Proceedings of the IEEE International Conference on Information and Automation, Macau, 2009; 784-789

# 利用仿射变换的快速空间关系验证

作者: [汪文英](#), [张冬明](#), [张勇东](#), [李锦涛](#)  
作者单位: [汪文英\(中国科学院计算技术研究所前瞻研究实验室, 北京, 100190; 中国科学院研究生院, 北京, 100049\)](#), [张冬明, 张勇东, 李锦涛\(中国科学院计算技术研究所前瞻研究实验室, 北京, 100190\)](#)  
刊名: [计算机辅助设计与图形学学报](#) **ISTIC EI PKU**  
英文刊名: [JOURNAL OF COMPUTER-AIDED DESIGN & COMPUTER GRAPHICS](#)  
年, 卷(期): 2010, 22(4)  
被引用次数: 0次

## 参考文献(11条)

1. [Matas J, Chum O, Urban M Robust wide-baseline stereo from maximally stable extremal regions](#) 2004(10)
2. [Mikolajczyk K, Tuytelaars T, Schmid C A comparison of affine region detectors](#) 2006(1)
3. [Sivic J, Zisserman A VideoGoogle:a text retrieval approach to object matching in videos](#) 2003
4. [Nistér D, Stewénius H Scalable recognition with a vocabulary tree](#) 2006
5. [Philbin j, Chum O, Isard M Object retrieval with large vocabularies and fast spatial matching](#) 2007
6. [Zheng Q F, Wang W Q, Gap W Effective and efficient object-based image retrieval using visual phrases](#) 2006
7. [Lowe D G Distinctive image features from scale-invariant keypoints](#) 2004(2)
8. [Mikolajczyk K, Schmid C Scale & afflne invariant interest point detectors](#) 2004(1)
9. [Lowe D G Object recognition from local scale-invariant features](#) 1999
10. [高科, 林守勋, 张勇东, 唐胜 基于空间上下文的目标图像检索\[期刊论文\]-计算机辅助设计与图形学学报](#) 2008(11)
11. [Carneiro G, Jepson A D Flexible spatial configuration of local image features](#) 2007(12)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_jsjfzs\\_jytxxx201004009.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jsjfzs_jytxxx201004009.aspx)

授权使用: 中科院计算所(zkyjsc), 授权号: 0f5178e6-384a-4e3f-a20d-9e5100db39c2

下载时间: 2010年12月19日