

一种快速彩色图像匹配算法

高富强, 张帆

(重庆大学自动化学院, 重庆 400044)

(fqgao@cqu.edu.cn)

摘要:针对彩色图像匹配的特点,利用颜色分量权重系数对序贯相似性检测算法进行了改进。同时,采用了粗-精匹配相结合的分层搜索策略,并在图像匹配过程中根据置信度对模板进行自适应更新。实验表明,该算法有效地减少了运算量,提高了图像匹配的精度,具有较好的实时性和鲁棒性。

关键词:图像匹配;颜色分量权重系数;SSDA

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A

A fast color image matching algorithm

GAO Fu-qiang, ZHANG Fan

(College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: According to the characteristics of color image matching, sequential similarity detection algorithm (SSDA) was improved based on color weight coefficient. Furthermore, the algorithm used hierarchy search which combined with rough matching and accurate matching, and updated template based on creditability during image matching. The experiment results show that the algorithm reduces the amount of calculation and increases the accuracy of image matching. Therefore, the algorithm has well real-time performance and robustness.

Key words: image matching; color weight coefficient; SSDA

0 引言

图像匹配在机器人视觉、智能交通、医学图像处理等领域得到了广泛应用。对于图像匹配算法,处理时间是衡量算法好坏的重要指标。传统的相关性匹配算法,其特点是运算简单,易于实现,但运算量大。

针对上述问题,本文提出了以 SSDA 为基础,采用分层搜索及模板自适应更新三者相结合的新的快速彩色图像匹配算法。

1 彩色图像匹配的特点

从彩色 CCD 摄像机可以输出基于 RGB 分量的彩色图像。目前,已经有多种借助于 RGB 色彩空间的颜色特征对图像进行匹配的方法^[1]。RGB 色彩空间采用三种基本颜色 R (红)、G (绿)、B (蓝),通过对三个分量的不同比例组合,合成所需要的任意颜色。在该模型中,红、绿、蓝三种基色分别用 256 个阶调数值来度量,不同阶调数值的这三种基色的组合,便形成了色彩丰富的颜色空间。

对于彩色图像匹配,由于模板图像中 RGB 分量各自所占的比重不同,因此对图像匹配结果的影响也应该不同。模板图像中比重大的彩色分量应该在匹配过程中起相对重要的作用,而比重小的彩色分量在匹配过程中所起的作用相对较小。因此,定义不同颜色分量的权重系数 K_R , K_G , K_B , 分别表示每种颜色的像素值占整个图像像素值总和的比例。

模板大小为 $M \times M$, R_i , G_i , B_i 分别表示每个像素在不同颜色空间的阶调值。由定义可以看出,权重系数代表了该颜色在目标模板中的重要程度。

2 基于彩色图像的 SSDA

传统的图像匹配 SSDA,利用模板不在匹配点上时,累计误差增长很快;反之,则增长缓慢这一特性,从而较快地剔除不匹配点,减少运算量,提高了搜索速度^[2]。

设模板 T 在被搜索图 S 上平移,模板覆盖下的那块搜索图叫作子图 $S^{i,j}$, i, j 是这块子图的左上角像素点在 S 中的坐标,叫作参考点。算法描述如下:

1) 定义绝对误差值:

$$\varepsilon(i, j, m_k, n_k) = |S^{i,j}(m_k, n_k) - \hat{S}(i, j) - T(m, n) + \hat{T}| \quad (1)$$

其中,

$$\hat{S}(i, j) = \frac{1}{M^2} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M S^{i,j}(m, n) \quad (2)$$

$$\hat{T} = \frac{1}{M^2} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M T(m, n) \quad (3)$$

2) 取一个阈值 T_k 。

3) 在子图 $S^{i,j}(m, n)$ 随机选取像点,计算它同 T 中对应点的误差 ε ,然后把这点的差值同其他点对的差值累加起来,直到累加 r 次误差超过 T_k 则停止累加,并记下累加次数 r ,定义 SSDA 的检测曲面为:

$$I(i, j) = \left\{ r \mid \min_{1 \leq r \leq m^2} \left[\sum_{k=1}^r \varepsilon(i, j, m_k, n_k) \geq T_k \right] \right\} \quad (4)$$

4) 把 $I(i, j)$ 值最大的点定位匹配点,因为在这一点上需要很多累加才能使总误差 $\sum \varepsilon$ 超过 T_k 。

传统的 SSDA 是针对灰度图像的匹配,没有利用到图像的颜色信息。针对彩色图像匹配的特点,对传统的 SSDA 作

了进一步的改进。分别对模板图像和待匹配图像的 RGB 色彩空间的每一维空间分别用 SSDA 进行计算,得到每一维空间的检测曲面为: $I_R(i, j)$, $I_G(i, j)$, $I_B(i, j)$ 。定义整个彩色图像的 SSDA 的检测曲面为:

$$I'(i, j) = K_R \times I_R(i, j) + K_G \times I_G(i, j) + K_B \times I_B(i, j) \quad (5)$$

从而,把 $I'(i, j)$ 值最大的点作为匹配点,这样充分利用了彩色图像的色彩信息,强调了模板图像中不同比重的颜色对匹配结果的贡献不同,提高了算法的效率和匹配的精确性。

3 图像的分层搜索

在保证图像匹配精度的基础上,减少数据处理的运算量,满足系统实时性要求,是图像匹配算法首先要解决的问题。

实验表明,在模板大小大于 15 个像素时,才会获得比较好的相关结果。同时也证明,可以用模板中的少量元素进行计算,而并不影响结果。这是因为图像相邻像素灰度之间存在较高的相关性,所以可以通过匹配模板亚采样来简化计算。模板亚采样算法通过每相邻 n 个像素。取一个像素值进行计算,可以将运算复杂度到原来的 $1/n^2$,并且不影响评估的精度^[3]。

本文设计了一种两层金字塔的分层搜索算法。首先,对输入图像按照一定的间隔进行采样,作低分辨率粗匹配运算。通过对整个图像搜索区进行匹配,从而找出若干候选匹配点,并对粗匹配的结果进行排序,选取匹配结果较好的前 m 个候选匹配点。然后,以粗匹配得到的 m 个候选匹配点为中心,在规定的邻域内作高分辨率精匹配运算,从精匹配结果中选取最佳匹配点。本文设计粗匹配结果为 3 个候选匹配点,精匹配的邻域尺寸为 3×3 像素。

4 模板的置信度和自适应更新

图像匹配主要应用于目标跟踪过程中。目标跟踪是一个序列图像处理、识别和测量过程。在这个过程中,目标可能出现大小、形状、姿态等变化,加上实际环境中的各种干扰,以及图像处理最小计量单位的精度问题,图像匹配得不到绝对最佳的匹配位置,存在测量误差。

为了保证图像匹配的稳定性,需要对模板进行自适应更新。判断模板是否需要更新要根据相关的置信度信号。如果相关匹配的置信度高,就可以根据本帧的匹配点更新模板;如果置信度低,则说明匹配不稳定,要沿用以前的匹配模板在下一帧进行相关匹配。

相关置信度信号是在分析相关匹配算法的基础上设计出来的,它是一个非常重要的参数。经过分析可知:若匹配点处的峰值很大,且峰值与其他非匹配点的均值之差越大,则表明匹配越可靠。

定义帧内相关置信度为:

$$C_0 = \frac{\max R - \bar{R}}{\max R} \quad (6)$$

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^M R_i}{M} \quad (7)$$

式中: C_0 是帧内相关置信度; $\max R$ 是当前帧匹配点处的误差累加次数; \bar{R} 是同一帧内 M 个依次比 $\max R$ 小的误差累加次数的均值。如果 $\max R$ 和 \bar{R} 相差越大,则说明该匹配点越可靠。本算法可根据计算速度的需要对 M 取值,一般可以取 M 等于 30。若 C_0 大于阈值 T_0 ,则认为相关匹配值 $\max R$ 符合帧内

置信度,更新模板;否则,相关匹配不可靠,不更新模板。阈值 T_0 根据所跟踪图像的质量和经验确定。

实践证明,在序列图像跟踪过程中,若单纯地利用当前图像的最佳匹配位置处的图像作为模板进行下一帧图像的匹配,则跟踪结果很容易受某一帧发生突变的图像的影响而偏离正确位置。因此,本文采用基于置信度的加权自适应模板修正算法。如果当前帧匹配质量很差,则该帧图像数据不进入模板修正;而若当前帧匹配质量很好,则该帧图像数据进入模板修正。

加权模板修正算法表示如下:

$$T(i, j, t+1) = \alpha \times o(i, j, t) + (1 - \alpha) \times T(i, j, t) \quad (8)$$

式中, $T(i, j, t)$ 为当前帧使用的模板图像, $o(i, j, t)$ 为当前帧最佳匹配位置的子图像, $T(i, j, t+1)$ 为预测得到的下一帧模板图像, α 为加权系数 ($0 \leq \alpha \leq 1$), 该系数的大小根据帧内相关置信度 C_0 , 按下式计算:

$$\alpha = 1 - e^{-C_0} \quad (9)$$

5 实验结果

将本文设计的算法应用于移动机器人视觉导航系统中,取得了满意的效果^[6]。基本的实验环境描述如下:实验场所为室内,背景不太复杂。目标物体为一个 $450\text{mm} \times 422\text{mm} \times 385\text{mm}$ 的立方体纸箱,摄像机初始距离目标物体为 5m,图像采集分辨率设为 160×128 。移动机器人采用的是三星公司的 S3C44BOX 嵌入式微处理器,系统主频为 60MHz,另外,嵌入式系统配置了 2MB 的 FLASH 存储器以及 8MB 的 SDRAM 存储器。分别对光源情况良好和光源情况不好的情况做了实验分析。

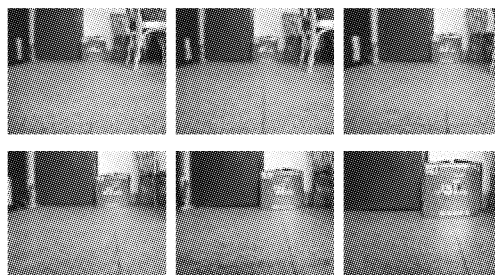


图 1 目标跟踪实验(白天)

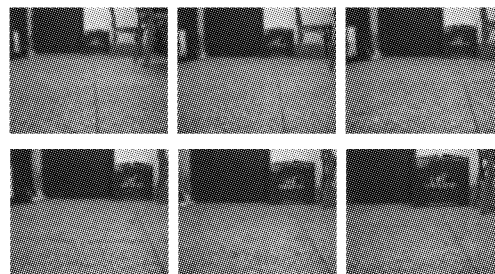


图 2 目标跟踪实验(晚上)

表 1 目标跟踪实验结果(白天)

图像序号	帧内相关置信度	目标当前坐标	目标位移量
1	0.923	(76, 80)	(0, 0)
2	0.837	(80, 76)	(4, -4)
3	0.824	(96, 80)	(16, 4)
4	0.691	(104, 80)	(8, 0)
5	0.819	(84, 88)	(-20, 8)
6	0.840	(112, 88)	(28, 0)

(下转第 2611 页)

越多,为了节约时间我们采用了一种最简单的误差估计方法。

给定网格 M , 位置误差公式为:

$$\varepsilon_v = \sum_{P \in M} \|P - P'\|^2 \quad (11)$$

法向误差公式为:

$$\varepsilon_n = \sum_{P \in M} \|n(T) - n(T')\|^2 \quad (12)$$

4 实验结果

利用本文的混合光顺方法,在 P4 微机上对 seashell 模型曲面进行测试,微机配置 CPU 为 1.7G,内存为 256M,测试结果如图 7 所示,结果表明在算法运行效率和光顺效果上本文算法都优于其他两种方法。

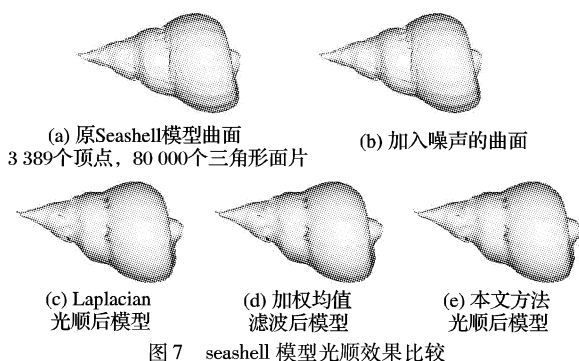
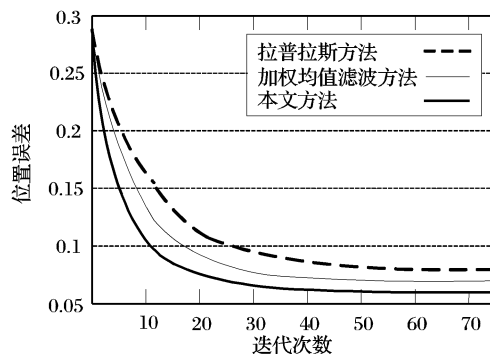


图 7 seashell 模型光顺效果比较

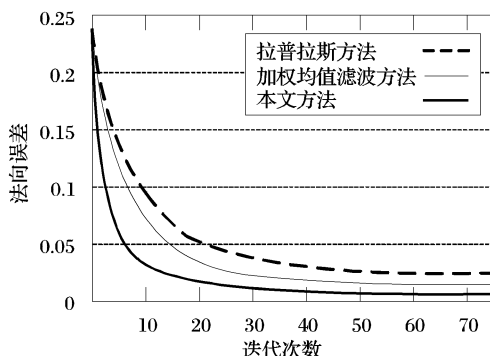
图 8 是 seashell 模型的位置误差和法向误差分析,可以看出本文算法要比其他两种方法的误差小。

参考文献:

- [1] TAUBIN G. A Signal Processing Approach to Fair Surface Design [A]. Proceedings of Siggraph 1995 [C], 1995. 351 - 358.
- [2] YAGOU H, BELYAEV A, WEI D. Mesh Median Filter For Smoothing 3-D Polygonal Surface [A]. Cyber Worlds 2002 [C]. Tokyo, Japan, 2002. 06 - 08.
- [3] KOBELT L, CAMPAGNA S, VORSATZ J, et al. Interactive Multi-resolution modeling on arbitrary meshes [A]. Proceedings of ACM SIGGRAPH98 [C], 1998. 105 - 114.
- [4] VOLLMER J, MENCL R, MÜLLER H. Improved Laplacian Smoothing of Noisy Surface Meshes [A]. Proceedings of Eurographics 1999 [C], 1999.
- [5] YAGOU H, OHTAKE Y, BELYAEV A. Mesh Smoothing via Mean and Median Filtering Applied to Face Normals [A]. Geometric Modeling and Processing IEEE [C], 2002. 124 - 131.
- [6] ARCE G, PAREDES J. Image enhancement and analysis with weighted medians [A]. MITRA SK, SICURANZA GL, ed. Nonlinear Image Processing [C]. Academic Press, 2001.
- [7] HU GF, PENG QS, FORREST AR. Robust Mesh Smoothing [J]. Journal of Computer Science & Technology, 2004, 19(4): 521 - 528.
- [8] GUSKOV I, SWELDENS W, SCHRODER P. Multiresolution singular processing for meshes [A]. Proceedings of SIGGRAPH99 [C], 1999. 325 - 334.



(a) Seashell 模型位置误差分析



(b) Seashell 模型法向误差分析

图 8 模型误差分析

(上接第 2605 页)

表 2 目标跟踪实验结果(晚上)

图像序号	帧内相关置信度	目标当前坐标	目标位移量
1	0.857	(76, 80)	(0, 0)
2	0.666	(96, 80)	(20, 0)
3	0.700	(96, 88)	(0, 8)
4	0.642	(120, 80)	(24, -8)
5	0.555	(112, 84)	(-8, 4)
6	0.606	(76, 80)	(-36, -4)

其中,目标当前坐标表示根据图像匹配的结果,得到的目标在当前实时图像中的位置;目标位移量表示目标在当前实时图像中相对于上一帧实时图像的位移值。

从实验结果分析可知,系统运行良好,跟踪目标没有出现大的偏差,基本上始终处于图像视野的中央位置,运动轨迹没有出现振荡,达到了机器人视觉导航的目的。

6 结语

本文设计的算法充分利用了彩色图像的特征,对传统的

SSDA 作了改进,在图像匹配的过程中引入了颜色分量权重系数,提高了图像匹配的精度。同时,采用分层搜索和模板自适应更新的策略,并给出了公式计算加权模板修正算法中的加权系数,克服了传统的按照经验取值的缺点。因此,该算法具有很强的实时性和鲁棒性,并能够应用于嵌入式系统这样的实时环境中,是一种快速有效的彩色图像匹配算法。

参考文献:

- [1] 付永会, 张凤超, 张宪民. 一种改进的基于颜色直方图的实时目标跟踪算法 [J]. 数据采集与处理, 2001, 16(3): 309 - 314.
- [2] 钟志光, 卢君, 刘伟荣. Visual C++ .NET 数字图像处理实例与解析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [3] GIACHETTI A. Matching Techniques to Compute Image Motion [J]. Image and Vision Computing, 2000, 18: 247 - 260.
- [4] 吉书鹏, 丁晓青. 机载多传感器实时图像跟踪系统研究 [J]. 红外技术, 2002, 24(7): 20 - 23.
- [5] 米长伟, 刘晓利, 徐明友. 基于 SSDA 的改进算法 [J]. 弹箭与制导学报, 2004, 24(1): 85 - 87.
- [6] 张帆, 高富强, 顾兴海. 嵌入式系统在机器人视觉中的应用 [J]. 自动化仪器与仪表, 2005, (1): 38 - 39, 47.