

一种变化光线下的拼图机器人识别系统

A Recognition System for the Jigsaw Puzzle Robot in Different Brightness

顾 骏 曹其新 倪 菲

(上海交通大学机械与动力工程学院, 上海 200030)

摘 要: 文章改进了图像分割和模板匹配技术, 提高了系统识别的准确性和鲁棒性, 设计并实现了一种适应光线变化的拼图机器人识别系统。文章最后给出了实验与仿真, 证明了识别系统的可行性。

关键词: 拼图机器人 机器视觉 图像分割 模板匹配

Abstract: This paper has designed and realized a recognition system of the jigsaw puzzle robot which can adapt to changing light and through designing of the hardware and software; improving image segmentation and template matching technology enhance the correctness of the recognition and realize a robust system. At last, the experiments prove the feasibility of the recognition system.

Key words: jigsaw puzzle robot machine vision image processing template matching

0 引 言

随着传感与智能控制技术的飞速发展, 对机器人的研究已经不局限于工业应用领域, 越来越多的娱乐和竞赛机器人走进了我们的生活, 例如索尼公司的 Aibo 机器人、足球机器人^[1]以及肖像绘制机器人^[2]等。

这些机器人都有一个共同的特点, 就是它们的识别系统都是基于机器视觉的, 而且它们将工作在开放的环境下, 这样, 外界光线的变化将直接影响视觉系统的识别准确率。如何在变化光线或者自然光线下^[3-4]提高识别系统的鲁棒性^[5-6], 是这项研究的关键所在, 也是世界上的热门研究课题。

我们最新研制的拼图机器人是集娱乐和竞赛于一身的智能机器人。它是处于一个开放的场馆中与观众比赛拼图, 所以它的拼图识别系统要在有外界光线变化扰动的环境下, 对拼图作准确的识别, 并且识别率要达到 99.9% 以上。如何实现和提高在变化光线下拼图机器人识别系统的可靠性和鲁棒性, 是整个机器人研究过程中的关键。

本文通过对拼图机器人工作环境的分析, 分别介绍机器人识别系统硬件与软件部分的设计, 并且通过图像分割^[7-11]技术的改进以及利用全局匹配的识别判断准则, 使识别系统在一个很大的光线变化范围内能有效地排除光线扰动的影响。

1 硬件设计

如图 1 所示, 系统硬件由图像采集模块、光源模块、计算机模块、机器人控制模块、气泵吸盘模块组成。

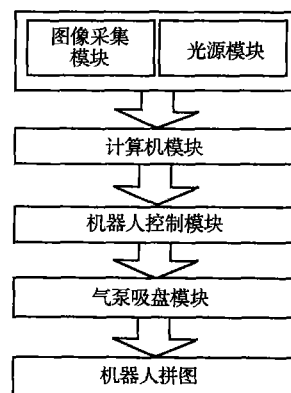
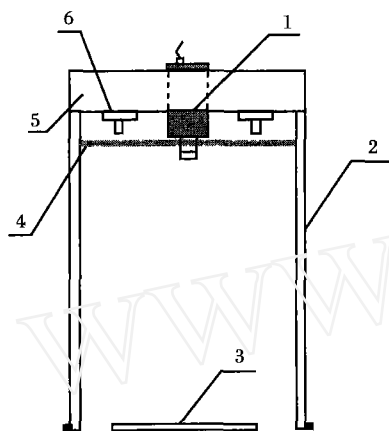


图 1 识别系统硬件部分

图像采集模块是由 1 台 CCD 摄像机和 1 块图像采集卡组成。摄像机垂直悬挂在拼图上方, 负责图像的采集工作。光源是由 3 盏 13W 的节能灯组成, 为了使光线更加均匀, 采用一块磨砂玻璃将 3 个电光源转换成面光源, 光源模块与摄像机由图 2 所示的支架固定。计算机模块是拼图识别系统的平台, 由于要进行图像处理与模式识别, 所以选择 Intel 奔腾 IV。图像采集模

块将采集的图像经计算机识别后,通过串口通信传输给机器人控制器,产生控制信号控制机器人完成拼图。机器人利用气泵产生的负压吸力,通过一个吸盘将拼图吸起或放下;在机器人控制器启动后,气泵将不断提供负压,通过一个电磁阀控制吸盘的开断以实现拼图的吸起与放下。



1. 摄像机 2. 支架 3. 拼图板 4. 磨砂玻璃
5. 摄像机光源固定件 6. 光源
图2 光源与摄像机支架

2 软件设计

拼图机器人的软件部分是整个系统的核心,它负责识别任意打乱的拼图块的位置与姿态。软件系统由图像显示、图像分割、拼图的特征提取、拼图识别和拼图仿真等部分构成,如图3所示。

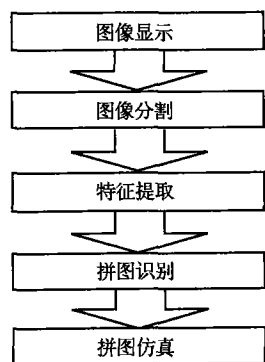


图3 软件流程图

其中的关键问题是如何在有外界光线扰动的情况下,提高系统鲁棒性,实现系统准确、稳定的识别。

2.1 图像显示

软件中图像的显示是利用 Visual C++ 6.0 中的视频库实现的,其功能是采集任意打乱的图像,已备后续处理。

2.2 图像分割

图像分割的目的是为了在整幅图像中实现拼图部

分与背景有效的分割,以便对拼图进行特征提取。

由于外部光线变化的扰动,导致图像分割时,分割阈值的选取有很大的不确定因素,所以要实现在变化光线下系统对拼图的识别,首先要解决如何使系统根据外界光线的变化情况,自动选择分割阈值。表1给出了不同光线下,通过实验取得的适合分割的阈值。

表1 光照强度与对应的分割阈值

光强 (lx)	分割阈值	光强 (lx)	分割阈值
30	125	160	170
90	130	170	174
100	135	180	179
110	140	190	183
120	146	200	188
130	153	210	192
140	159	220	198
150	165	230	205

图4给出了表1中实验数据的曲线。由曲线可知,拼图图像的分割阈值与光照强度有较好的线性关系,所以设图像分割的阈值为 T ,光照强度为 L ,则 T 与 L 可以由下式定义:

$$T = aL + b \quad (1)$$

其中 a 和 b 为常数。

有了式(1)的关系,系统就可以自动根据外界的光线变化设定分割阈值。

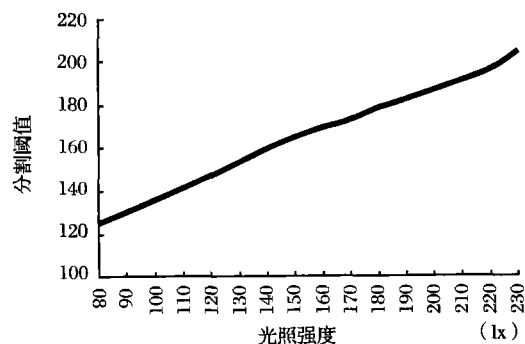


图4 光照强度与分割阈值的关系

2.3 拼图特征提取

在整个识别系统的设计中,拼图的特征提取是一个中间环节,但是特征信息的优劣直接影响到拼图的识别。在本系统中,拼图的特征提取是以分割后的拼图中心为基准,提取图像中拼图模块中心的上下35行、左右35列的像素灰度值,如图5所示。加上拼图中心本身所在行列的像素,组成一个 75×75 个像素灰度

值的特征矩阵 Ψ , 即

$$\Psi = \begin{bmatrix} g_{1,1} & g_{1,2} & \cdots & g_{1,71} \\ g_{2,1} & g_{2,2} & \cdots & g_{2,71} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{71,1} & g_{71,2} & \cdots & g_{71,71} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, $g_{i,j}$ 表示对应行列像素的灰度值。

在设计拼图特征提取时, 考虑到图像中拼图模块边缘的图像有所失真, 所以在特征矩阵中未包括拼图模块边缘的像素灰度信息。

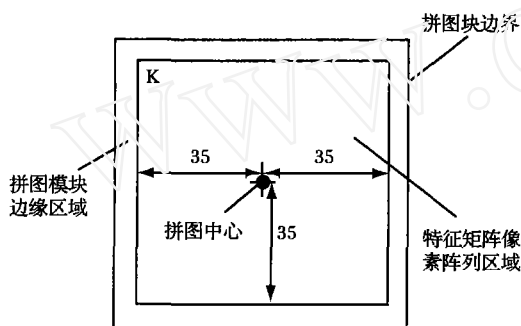


图5 拼图特征提取

系统要识别 25 块拼图, 则系统将提取 25 块拼图的特征, 建立 25 个特征矩阵 $\Psi_1 \sim \Psi_{25}$ 。

2.4 拼图识别

(1) 识别算法设计

拼图的识别采用特征矩阵匹配的方法, 即按照拼图特征提取的方法在计算机中保存拼图的模板矩阵 $\Gamma_1 \sim \Gamma_{25}$, 然后利用在不同时刻取得的特征矩阵 $\Psi_1 \sim \Psi_{25}$ 与 $\Gamma_1 \sim \Gamma_{25}$ 逐一匹配, 计算出匹配相似度。式(3)给出了特征矩阵 Ψ_i 和模板矩阵 Γ_j 匹配相似度计算公式:

$$R(i,j) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M \Psi_i(m,n) \times \Gamma_j(m,n)}{\sqrt{(\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M [\Psi_i(m,n)]^2) \times (\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M [\Gamma_j(m,n)]^2)}} \quad (3)$$

式中, $\Psi_i(m,n)$ 与 $\Gamma_j(m,n)$ 分别表示特征矩阵与模板矩阵中第 m 行、 n 列的元素。

根据图6中的关系, 逐个识别后将有 25×25 个识别结果, 然后建立一个 25×25 的匹配相似度全局矩阵 $\mathcal{R}$ 进行判决, 则

$$\mathcal{R} = \begin{bmatrix} R_{(1,1)} & R_{(1,2)} & \cdots & R_{(1,25)} \\ R_{(2,1)} & R_{(2,2)} & \cdots & R_{(2,25)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{(25,1)} & R_{(25,2)} & \cdots & R_{(25,25)} \end{bmatrix} \quad (4)$$

判决准则的设计如下: 找到 $\mathcal{R}$ 中最大的元素 $R(p,q)$, 则图像中第 p 块拼图就是第 q 号拼图, 然后划去 $\mathcal{R}$ 中 $R(p,q)$ 所在的行列, 形成了子矩阵 $\mathcal{R}_1$ 。对 $\mathcal{R}_1$ 重复上述操作找到下一块拼图的对应拼图号, 如此循环 25 次则可得到 25 块拼图各自的对应号, 从而完成识别。

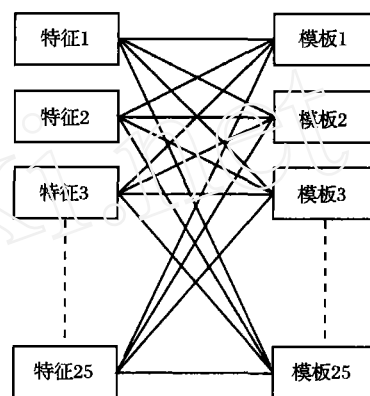


图6 模板匹配

(2) 光线变化下识别系统鲁棒性分析

由于模板与特征是在不同时刻提取的, 因此在随时间变化的光线扰动下, 不同时刻提取的特征与模板将会存在差异, 在理论上会引起识别的不准确。

但是, 识别算法中设计的建立全局矩阵的判决准则充分考虑了光线的影响, 在识别完单块拼图时并没有急于判决而是等全部识别完以后, 从 25 块拼图的识别结果中选择相似度最高的比较结果, 如此便能有效地补偿光线变化的影响。

为了说明问题, 在任意光线下, 对事先已知的第 7 号拼图与 25 个模板进行匹配, 图7给出了匹配结果。对于其他编号的拼图结果也是一样的, 在此不做一一介绍。由图7可知, 7 号拼图与 7 号模板匹配相似度最高, 因为在与模板 7 的匹配点上, 相似度达到最大值, 这就证明匹配是正确的。由于实验结果是在任意光线下取得的, 因此可以证明无论光线如何变化, 特征矩阵与模板矩阵都能正确地匹配。

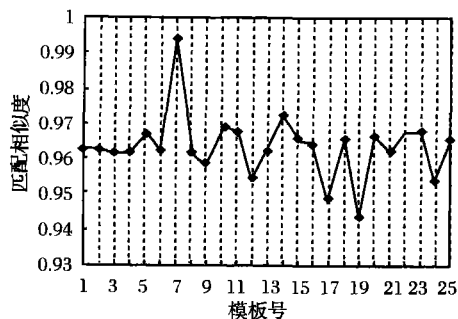


图7 拼图匹配结果

3 实验和仿真

拼图机器人识别系统是基于机器视觉的集硬件与软件为一体的智能系统。系统采用的是安川六自由度机器人手臂。该系统可以在光线强度 80 ~ 240lx 范围内准确进行识别;在光线强度低于 80lx 或者高于 240lx 的情况下无法准确识别的原因是由于摄像机的局限,光线太低或者太高无法采集到清晰的图像。图 8 给出了光照强度为 80lx、160lx、240lx 时的仿真结果。经过反复试验得到的系统性能数如表 2 所示。

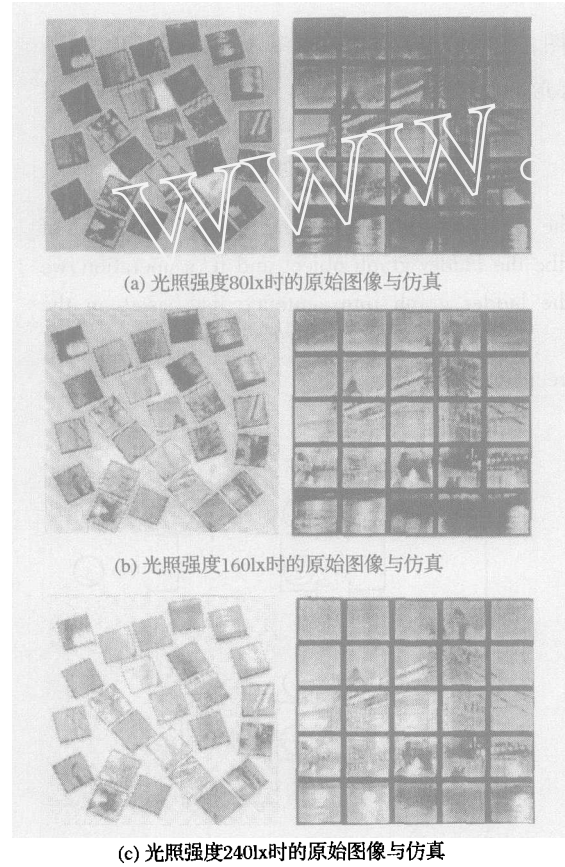


图 8 不同光照强度时的仿真

表 2 系统试验数据

识别准确率	大于 99.9%
一次识别耗时	7 ~ 10s
机器人完成拼图耗时	150 ~ 180s
系统连续工作能力	8h 以上
系统工作光照强度范围	80 ~ 240lx

4 结束语

本文设计和实现了一种在光线变化下基于机器视觉的拼图机器人识别系统。系统硬件部分由图像采集、光源、计算机、机器人控制器以及气泵吸盘等模块组成;软件部分则通过改进图像分割和模板匹配的算法,使识别系统对光线的变化并不敏感,从而提高了系统的鲁棒性,并通过实验验证了系统具有较好的光线适应能力。

通过实验,证明了系统可以在光线强度为 80 ~ 240lx 范围内连续不间断地识别。一次识别耗时 7 ~ 10s。

参考文献

[1] Jamzad M, Sadjad B, Mirrokni V, et al. A fast vision system for middle size robots in RoboCup. In RoboCup 2001 Robot Soccer World Cup V, number 2377 in Lecture Notes in Artificial Intelligence, 2002: 71 - 80.

[2] Sylvain C, Julien E, Aude B. A humanoid robot drawing human portraits. In Proceedings of the IEEE - RAS International Conference on Humanoid Robots, 2005.

[3] Mayer G, Kraetzschmar G K, Utz H. Playing robot soccer under natural light: A case study. 7th International Workshop on RoboCup 2003, Lecture Notes in Artificial Intelligence Springer, 2004.

[4] Arthur M, Stefan W, Martin R. Line based robot localization under natural light conditions. ECAI 2004 Workshop on Agents in Dynamic and Real Time Environments, 2004.

[5] Gregor K, Omar O, Drago M, et al. Robust and efficient vision system for mobile robot control: Application to soccer robots. Electrotechnical Review, Electrical Engineering and Computer Science, 2001, 68(5): 6 - 312.

[6] Klancar G, Kristan M, Kovacic S. Robust and efficient vision system for group of cooperating mobile robots with application to soccer robots. ISA Transactions, 2004(43): 329 - 342.

[7] Gunter H, Bastian L, Paul L. 3D object recognition from range images using local feature histograms. Proceeding IEEE, 2004.

[8] 郭礼华, 李建华, 杨树堂. 综合区域和边界信息的图像自适应分割技术[J]. 上海交通大学学报, 2005(4).

[9] 薛景浩, 章毓晋, 林行刚. 一种新的图像模糊化散度分割算法[J]. 清华大学学报, 1999(1).

[10] Pal N R, Pal S K. A review on image Segmentation techniques. Pattern Recognition, 1993, 26: 1277 - 1294.

[11] Sahoo P K, Soltani S, Wong A K C, et al. A survey of thresholding techniques. Computer Vision, Graphics, Image Processing, 1988, 41: 233 - 260.