

# 基于角偏移的机器人灰度图像匹配算法研究

夏 澎, 郝卫东

(桂林电子科技大学 机电工程学院, 广西 桂林 541004)

**摘要:** 以利用投影特征将二维数据简化为一维的算法为基础, 提出了一种基于角偏移的机器人灰度图像匹配算法, 以减少计算时间并提高计算效率。本算法实时性强, 时间复杂度小。经过多次实验验证, 采用本算法的机器人巡线准确、快速, 具有较好的稳定性。

**关键词:** 图像匹配; 巡线; 机器人; 角偏移; 特征提取

中图分类号: TP242.6<sup>+</sup>

文献标识码: B

## Research of robot gray image matching arithmetic based on angle excursion

XIA Peng, HAO Wei Dong

(School of Machinetric Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

**Abstract:** This paper proposed a recognition algorithm using grey image matching based on angle excursion to decrease the time of computation and raise the matching efficiency. For this algorithm, the one-dimensional data replace the traditional two-dimensional data by using projective features, resulting in good real-time capability and lower complexity. Experiments show that the line-tracking robot with this algorithm has good stability, high accuracy and speed.

**Key words:** image matching; detect line; robot; angle excursion; character distill

图像匹配技术是数字图像处理领域的一项重要研究, 并在计算机视觉、虚拟现实场景生成、航空航天遥感测量、医学影像分析、光学和雷达跟踪、景物制导等领域得到了广泛的应用。根据已知模式(模板图)到另一幅图中搜索相匹配的子图的过程称为模板匹配。一般来讲, 图像的模板匹配技术可以分成直接基于灰度值的方法以及基于特征提取的方法两大类<sup>[1]</sup>。特征提取方法一般涉及大量的几何与图像形态学计算, 计算量大, 没有一般模型可遵循, 需要针对不同应用场合选择各自适合的特征。但是, 所提取出的图像特征包含更高层的语义信息, 许多此类方法具有尺度不变性与仿射不变性, 如兴趣点检测或在变换域上提取特征, 特别是小波特征可实现图像的多尺度分解和由粗到精的匹配。由于基于灰度值相关的方法简单易行, 并且其数学统计模型以及收敛速度、定位精度、误差估计等均有定量的分析和研究结果<sup>[2]</sup>, 因此, 此类方法在图像匹配技术中仍占有重要地位, 尤其是机器人巡线领域。本文通过灰度算法的比较, 提出了一种基于角偏移的机器人灰度图像匹配算法。

### 1 算法比较

基于灰度值的经典匹配方法有两类, 第一种是归一化的

灰度匹配法<sup>[3]</sup>, 该算法的模板匹配相关系数为:

$$r(i,j) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N S^i(m,n) \times T(m,n)}{\sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [S^i(m,n)]^2} \sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [T(m,n)]^2}} \quad (1)$$

理论上, 当模板和搜索子图完全一样时, 相关系数  $r(i,j)$  的值为 1。在实际操作中总会有所偏差, 所以一般按照传统的匹配算法即逐行逐列地对各个搜索子图进行搜索, 求出相关系数最大值  $r_{\max}$ , 然后找出其对应的子图即为匹配的目标。这种搜索的时间复杂度为  $O(M^2N^2)$ 。

第二种是计算灰度模版与搜索子图绝对差值(absolute difference)的和<sup>[4]</sup>:

$$E(i,j) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |S^i(m,n) - T(m,n)| \quad (2)$$

其中,  $E(i,j)$  最小值处即为匹配目标, 为了提高速度, 一般会取一个误差阈值  $E_0$ , 当  $E(i,j) > E_0$  时停止计算, 转向下一点继续计算, 这样便可以获取一系列对应特定目标位置的目标值, 然后在这一系列目标位置中取最小值所在位置即为符合匹配的目标点。这种搜索的时间复杂度也是  $O(M^2N^2)$ , 同时一旦

## 技术与方法

Technique and Method

搜索图的灰度发生变化,算法有可能失效<sup>[5]</sup>。

这两种算法共同的缺陷是时间复杂度高,速度慢不利于实时操作,特别是诸如在线检测、机器人巡线等需要从大量视频信号实现数字处理海量图像的匹配场合,图像匹配的质量和速度显得尤为重要。如何在保证匹配精度的前提下进一步提高匹配速度是目前匹配技术迫切需要解决的问题。

本系统的实现平台是基于 ARM9 处理器 S3C2410 和  $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$  的嵌入式机器人平台,通过 CCD 摄像头和视频采集卡 VC302 采集图像,主要完成自动巡线功能。由于本系统采用的处理器 S3C2410 硬件不支持浮点运算,经过使用 ADS1.2 集成开发环境验证,在有浮点运算语句的地方,虽然能通过编译,但将 bin 文件烧入目标板时,程序总会抛出数据异常错误<sup>[6]</sup>,因此尽量避免在采用算法实现过程中使用浮点运算。利用投影特征将二维数据简化为一维,在匹配运算过程中时间复杂度降为  $O(M+N)$ ,同时可以避免浮点运算。为此,本文在此算法的基础上,提出了一种机器人角偏移控制算法。

角偏移控制算法是利用直线与图像中心垂线的上下边缘角度偏移特征向量  $[offu, offd]$ ,从而得到直线中心角偏移量  $[offc]$  驱动机器人本体使得该特征向量位于一定特征空间内;对于角偏移算法,假设图像大小为  $[M, N]$ ,本算法核心在于提取采集到图像的两个子集  $[0-M/10, N]$  和  $[9M/10-M, N]$ ,对两个图像的横向投影分别取得其横向中心位置,第一个子集对应  $offu$ ,第二个子集对应  $offd$ ,这两个偏移量的起点是图像宽度的中心位置,即  $\text{width}/2=160$  pixels,如图 1(a)所示为标示的  $[offu, offd]$ ,图 1(b)所示为两个子集投影曲线。

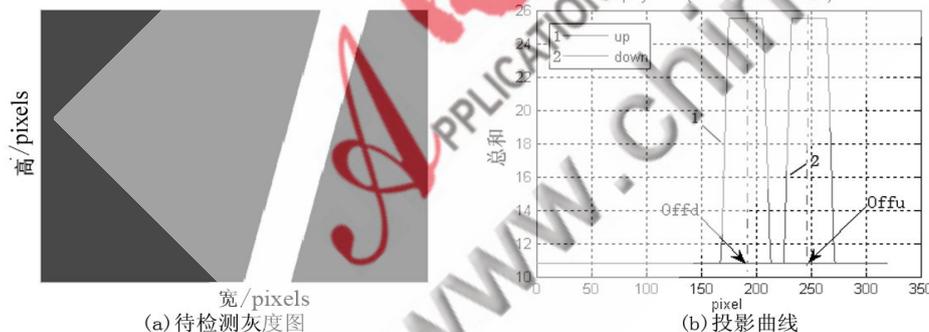


图 1 角位移检测

## 2 角偏移算法的实现

## 2.1 机器人巡线流程

基于角偏移的机器人动态巡线的流程是:首先设定模版特征,提取机器人运动过程中的动态特征,比较动态特征与模板特征获取机器人本体驱动控制参数,即 S3C2410 中两个 PWM 控制器输出的占空比,驱动机器人运动。角偏移控制算法模板特征固定为图像中线对称处,将不会动态改变。提取特征向量  $[offu, offd]$ ,从而得到角偏移量  $offc$ ,将  $offc$  与机器人电机驱动电路的 PWM 输入关联,根据特定的控制策略驱动机器人本体自主寻迹。巡线算法流程图如图 2 所示。

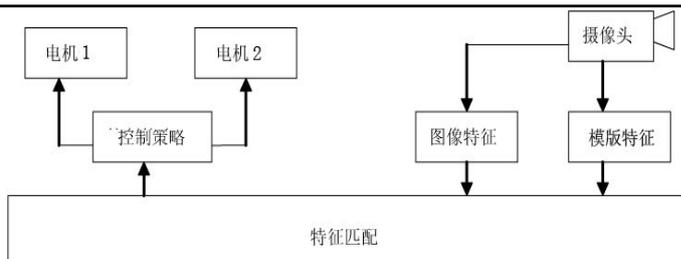


图 2 巡线算法流程图

## 2.2 角偏移特征提取与匹配

按照图像二维投影方法<sup>[7]</sup>,设采集的图像为  $S(i,j)=R^{I \times J}$ ,将其向  $X$  轴和  $Y$  轴两个方向投影,得到两个特征数组  $S_x(j)$  和  $S_y(i)$ ,它们构成了动态图像特征空间  $S$ 。

$$S_x(j) = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I S(i, j) \quad (3)$$

$$S_y(i) = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J S(i, j) \quad (4)$$

其中,  $i=1, 2, \dots, I; j=1, 2, \dots, J$ 。

如果设模板特征为  $T(m,n)=R^{M \times N}$ ,同样将其向  $X$  轴和  $Y$  轴两个方向投影,得到两个特征数组  $T_x(n)$  和  $T_y(m)$ ,它们构成了模板图像特征空间  $T$ 。

$$T_x(n) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M T(m, n) \quad (5)$$

$$T_y(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N T(m, n) \quad (6)$$

其中,  $m=1, 2, \dots, M; n=1, 2, \dots, N$ 。

由于宽度为 30 mm 的白线在  $Y$  轴上的投影随着白线与

$X$  轴角度的变化不是很大,因此舍弃  $Y$  轴上的投影空间,将动态图像特征空间简化为  $S \rightarrow S_x(j)$ ;模板空间同样做此简化  $T \rightarrow T_x(n)$ ,在使用过程中,模板将固定在白线中心线与图像中线位置,为此  $T_x(n) = \vec{C}$ ,为一常量数组,数组值不变<sup>[8]</sup>。

为获取每幅动态图像的特征向量  $[offu, offd]$ ,下面定义与  $offu$  与  $offd$  相关的两个动态图像区和模板简化,  $offu$  提

取区,  $offd$  提取区。

定义  $offu$  提取区为:

$$S_x^u(j) = \frac{1}{(I/10)} \sum_{i=1}^{(I/10)} S(i, j) \quad (7)$$

定义  $offd$  提取区为:

$$S_x^d(j) = \frac{1}{(I/10)} \sum_{i=(9I/10+1)}^{(I/10)} S(i, j) \quad (8)$$

从图 1 可以看出,提取的  $offu$  和  $offd$  与  $S_x^u(j)$  和  $S_x^d(j)$  取值为最大对成位置很接近。图 1(a)的角度偏移为  $15^\circ$ ,随着角偏移的减小,  $offu$  和  $offd$  与最大取值对成位置则愈加接近。这里

规定:

$$offu = \frac{1}{J_{maxn}} \sum_{j=J_{maxl}}^{J_{maxn}} J_{max} \quad (9)$$

式中:  $\vec{J_{max}} = \vec{j}$ ,  $J_{maxn} = length(\vec{j})$ , 当  $S_x^u(j) \rightarrow MAX$  时

$$offd = \frac{1}{J_{maxn}} \sum_{j=J_{maxl}}^{J_{maxn}} J_{max} \quad (10)$$

式中:  $\vec{J_{max}} = \vec{j}$ ,  $J_{maxn} = length(\vec{j})$ , 当  $S_x^u(j) \rightarrow MAX$  时, 按照与  $[offu, offd]$  同样的提取方法, 可以得到模版  $T_x(n)$  的特征值。由于模版的特殊性, 使得模板特征向量元素  $offu = offd$ , 为此用一个变量代替, 记为  $offm$ , 经过计算得到:

$$offd = Width/2 \quad (11)$$

式中,  $Width$  为图像宽度。由于采集到的图像大小为  $240 \times 320$  pixels 的图像, 因此  $offm = 320/2 = 160$ 。

由每幅动态图像的特征向量  $[offu, offd]$  的提取和模板向量  $offm$  特征向量与模板向量的匹配, 可以求出电机 PWM 输入控制参数, 这里称为角偏移量控制参数, 记为  $offc$ 。

$$offc = (offu + offd) \gg 1 - offm \quad (12)$$

2.3 算法 MATLAB 仿真

为验证所述算法有效性, 用 MatLab 仿真算法特征提取特征匹配理论部分, 研究对象为根据即将进行的巡线试验有可能处理的一系列图片, 给出相应的仿真结果。仿真图片仅仅采用 PC 制作的仅有一条带状直线, 这并不说明算法仅仅只适用于一条直线的伺服寻迹情况, 其主要还是为能在机器人巡线场地而设计的, 这只是为了简化说明。

图 3 表示机器人自动巡线过程中发生偏移时可能出现的两种情况下相应的图片, 图中表示的偏移均比较大, 这仅仅是为了说明问题, 在机器人自动寻迹时角度偏差会小得多。图 3(a) 表示机器人在右偏时采集到的图像, 图 3(b) 表示机器人在发生左偏时采集到的图像。两图投影特征提取与匹配的结果如图 4 中两图所示, 其中图 4(a) 与图 3(a) 对应, 图 4(b) 与图 3(b) 对应。以图 3(a) 和其提取和匹配结果图 4(a) 为例解释匹配结果: 在图 4(a) 中 1 号梯形状曲线 (up) 表示图 3(a) 的  $offu$  提取区在 X 轴投影结果, 2 号梯形状曲线 (down) 表示图 3(a) 的  $offd$  提取区在 X 轴投影结果, 两个曲线上的三角形分别表示其相应的  $offu$  和  $offd$  取值所在位置, 其中的 3 号虚线为  $offu$  和  $offd$  中心线, 其与  $offc$  关联。两幅偏移图的偏移输出结果如表 1 所示。

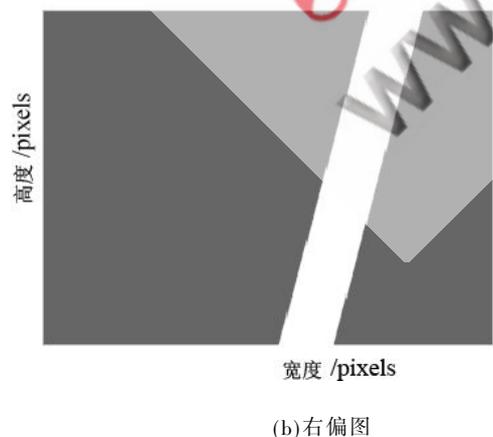
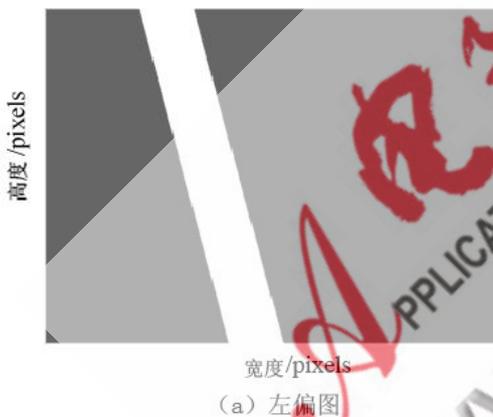


图 3 偏移两种情况

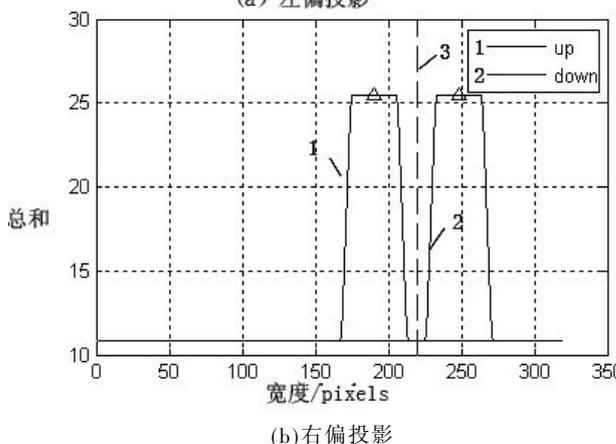
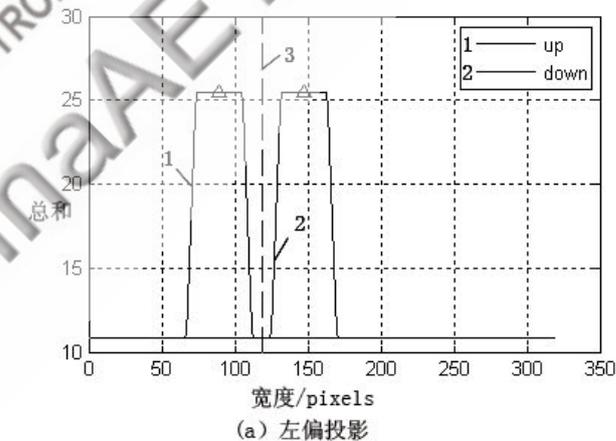


图 4 特征提取

表 1 匹配结果

角偏移量	a 图/ $^{\circ}$	b 图/ $^{\circ}$
offu	89	248
offd	147	190
offc	-41	59

### 3 试验结果

#### 3.1 控制策略的 PWM 输出试验

为检测试验平台的效果,首先确定检测到的角偏移量与 PWM 输出的对应关系,本系统用示波器检测特定角偏移量的 PWM 输出。通过将 PWM 输出脚接入示波器的 CH1、CH2 通道获取特定的角偏移量对应的 PWM 输出图,图中上方方波对应与左偏移量(取负值),下方方波对应于右偏移量(取正值)。核心板 TIME 的 PWM 发生器频率配置为 500 Hz,示波器测定频率均为 4961 Hz。

通过测得不同角偏移量对应的 PWM 图可得到两者之间的关系如表 2 所示。

表 2 角偏移量与 PWM 对应关系

偏移量/ $^{\circ}$	左电机 PWM 电压/V	右电机 PWM 电压/V
-84	3.31	1.37
-53	3.31	2.36
-30	3.31	2.84
-16	3.31	3.02
0	3.31	3.28
16	3.07	3.28
31	2.86	3.28
53	2.40	3.28
84	1.49	3.28

从表 2 可以看出,当机器人本体左偏(取负值)时,随着偏移量的加大(0 $\rightarrow$ -84)驱动右电机 PWM 电压输出将逐步减小;同样当机器人本体右偏(取正值)时,随着偏移量的加大(0 $\rightarrow$ 84)驱动左电机 PWM 电压输出减小力度将逐步增大,从而将机器人本体回归到偏移量为零的位置。由表 2 可以看出,运用此算法的机器人具有较高的反馈能力。

#### 3.2 现场试验结果

试验场地设定白线宽度为 30 mm,白线围成的正方形大小为 500 mm $\times$ 500 mm,循线总长为 16 个方格,即 8 m,在启动试验平台之前要调整摄像头视角,如果视角太大其循线精度很难保证,甚至会脱离预期的轨迹。经过试验验证,当摄像

头摄制的图像在一个方格之内,此时摄像头光轴与地面夹角大约为 60 $^{\circ}$ 左右时,其循线可靠性及精度能够得到很好的保证。经过多次调试和运行,机器人巡线稳定、快速,巡线过程中没有出现纠偏不足、纠偏过度及纠偏过于频繁的现象,左右偏移误差也比较小。机器人根据导引线指示的路径很容易实现自主移动,完成了前进、转弯等动作,并最终巡线到达指定的位置。

上述实践效果证明,本文提出的角偏移算法能够很好地实现机器人巡线行走。由于采用了摄像头采集图像以消除环境、光、场地等影响,因此极大地提高了引导线和场地颜色的分辨率。在数据处理上采用了 ARM9 核的 S3C2410 处理器,数据处理快,能够满足实时性的要求。与传统的其他巡线技术相比,该巡线算法实时性、快速性和控制精度更高。因此,本文所采用的角偏移巡线算法是其中一种行之有效的巡线算法,对机器人快速巡线的研究有一定的参考意义。该技术可推广应用于机器人比赛、自动化无人工厂、仓库、服务机器人等领域。

#### 参考文献

- [1] 李强,张钊.一种基于图像灰度的快速匹配算法[J].软件学报,2006,17(2):216-222.
- [2] BARNES D I, SILVERMAN H F. A class of algorithms for fast digital image registration [J]. IEEE Trans on computers, 1972,21(2):179-186.
- [3] 余莉,王润生.基于多尺度变形模板的目标检测与识别[J].计算机研究与发展,2002,39(10):1325-1330.
- [4] 杜志国,薄瑞峰,韩炎.基于投影特征的图像匹配的快速算法[J].华北工学院测试技术学报,2000,14(1):18-20.
- [5] 蒋晓瑜,黄应清.基于小波变换的多分辨率模板匹配[J].中国图像图形学报,2000,5(4):304-308.
- [6] 廖日坤.ARM 嵌入式应用开发白金手册[M].北京:中国电力出版社,2005.
- [7] 孙远,周刚慧,赵立初,等.灰度图像匹配的快速算法[J].上海交通大学学报,2000,34(5):702-704.
- [8] MIKOLAJCZYK K, SCHMID C. Scale & affine invariant interest point detectors[J]. Int'l Journal of Computer Vision, 2004,60(1):63-86.
- [9] 严柏军,郑链,王克勇.基于不变矩特征匹配的快速目标检测算法[J].红外技术,2001,23(6):8-12.

(收稿日期:2009-10-22)

#### 作者简介

夏澎,男,1983年生,硕士,主要研究方向:嵌入式机器人系统。

郝卫东,男,1964年生,高级工程师,主要研究方向:嵌入式机器人系统。