

基于边缘检测的图像分割的超声诊断 机器人控制系统设计

王可庆

(南京信息工程大学滨江学院 自动化学院, 江苏 无锡 214000)

摘要: 传统系统在嵌入信息后峰值信噪比较高, 使图像分割结果与实际效果相差较大, 导致控制系统超声诊断结果并不精准, 针对该问题, 提出基于边缘检测的图像分割的超声诊断机器人控制系统设计; 在控制系统的硬件结构部分, 以 STM32F103C8T6 单片机为核心的控制器, 使用型号为 3MC58 的步进电机驱动器, 通过角位移量控制脉冲个数, 以实现更加准确的定位; 在软件设计中, 通过图像分割技术检测图像边缘特征, 提高图像分割精度和准确度, 帮助诊断机器人提高诊断功能; 分析不同嵌入率下峰值信噪比, 在确定该值后将传统系统与该系统的超声诊断功能对比分析, 由实验结果可知, 该系统在嵌入信息后峰值信噪比较高的情况下也能保证图像分割结果与实际效果一致, 对 0.8 bpp 嵌入率图像的分割处理效果平均值为 89%, 超声诊断准确率平均值为 88.6%, 表明该系统的控制性能较好, 能够为医学、航天航空及军事领域提供设备支持。

关键词: 图像边缘检测; 图像分割; 超声图像; 机器人诊断控制

Design of Ultrasonic Diagnosis Robot Control System Based on Image Detection Based on Edge Detection

Wang Keqing

(College of Automation, Nanjing University of Information Science & Technology Bingjiang College, Wuxi 214000, China)

Abstract: After embedding information, the traditional system has a relatively high peak signal-to-noise, which makes the image segmentation result different from the actual effect, resulting in inaccurate ultrasonic diagnosis results of the control system. To solve this problem, an ultrasonic diagnostic robot control based on image segmentation based on edge detection is proposed system design. In the hardware structure part of the control system, the controller with STM32F103C8T6 single-chip microcomputer as the core uses a stepper motor driver model 3MC58, and the number of pulses is controlled by the angular displacement to achieve more accurate positioning. In software design, image edge features are detected by image segmentation technology to improve image segmentation accuracy and accuracy, and help diagnostic robots improve diagnostic functions. Analyze the peak signal-to-noise ratio at different embedding rates. After determining this value, compare the traditional system with the ultrasonic diagnosis function of the system. From the experimental results, it can be seen that the system can also be used when the peak signal-to-noise is relatively high after embedding information. Ensure that the image segmentation results are consistent with the actual results, the average segmentation effect of 0.8 bpp embedding rate image is 89%, and the average accuracy of ultrasound diagnosis is 88.6%, indicating that the system has good control performance and can provide equipment support for medical, aerospace and military fields.

Keywords: image edge detection; image segmentation; ultrasound image; robot diagnostic control

0 引言

超声诊断机器人是检测零部件的一个完整系统, 它可以在壁面上以吸附的形式攀爬, 利用自身的探头和其他附属设备完成零部件的缺陷、厚度和强度的检测, 并且其探头是超声波且无损害的, 该机器人属于一种典型的爬壁机器人^[1]。当今, 主要有四种比较成熟的超声诊断机器人控制系统, 分别是: 发电设备、通用管道、管道和无损检测机器人^[2]。但是以上的这些机器人都有着相同的缺点, 就是不具备可

以定位的定位感应器, 所以想要对它们进行定位和跟踪都只能靠人工完成, 这就避免不了因为人为因素导致的不同的检测效率和检测质量上的影响^[3]。所以设计了一种建立在上述因素之上的主控制器, 该控制器主要以 STM32F103C8T6 为主, 且将图像分割技术融合到其中, 通过该技术, 有效提高了诊断机器人的诊断能力, 因为使用该技术可以对图像的边缘特征进行检测, 并将图像的分割精度和准确度进行一定程度的提升。实验结果指出, 利用上述系统, 可以对机器人的姿态做到自动化控制, 从而达到超声检测的要求。

1 超声诊断机器人应用场景分析

正如人们所知, 已经有很多的领域在使用超声波测距技术, 该技术已经存在已久了。举例说明的话有很常见的

收稿日期: 2020-04-16; 修回日期: 2020-05-12。

基金项目: 科技部高技术研究中心重大科学仪器设备开发项目(2018YFF01012900)。

作者简介: 王可庆(1981-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 硕士, 副教授, 主要从事智能机器人工程、无损检测仪器与仪表方向的研究。

自动测距照相机、墙面测距仪（建筑中使用的，手持仪器）等^[4]，都是利用了超声波技术。而这些仪器都是由一些简单的部分组成，建立在超声波传感器基础上的障碍物判别系统就是由超声波测距传感器和一些常见的电子元器件组成，传感器一般有收、发分体式以及一体式两种。但是因为这种仪器不具备强大的功能，现在基本不被采用。当今衍生出了大量的微电子技术下的微处理器，即单片机，它们不仅体积小，而且价钱很便宜，超声波传感器的精度也因此变得更高，传感器的功能也得到了提升。不单单是测量距离时的精确度因为微处理器的出现变得更高，它的出现也使得该技术的应用领域变得更加广阔。起初人们便根据单片机的设计原理设计出来超声波测距系统，然后相似的系统便大量的被设计出来，许许多多的科研团队及工厂等都研究出了此类测距仪，而且不仅是国内，国外也是如此。20 kHz 以上的机械振动波被称为超声波，它是通过计算脉冲的发射和接收的时间间隔进行距离的推算。超声波传感器不仅成本低而且非常容易安装，电磁光线等都不会对其造成影响，所以经常被环境探测、导航等方面所应用。

我国已经制定出了基于我国机器人技术的发展与要求的智能机器人发展战略，为了将国家目标更加切实突出，按照可持续发展等战略，确定了三个重点的发展方向：特种机器人的确定、智能机器与系统、先进的制造工艺和装备。落实自动化理论、自动化技术和自动化装备的专研和开发，将传统的机器智能化和自动化的装备制造发展做出良好改进，进而实现我国在机器人技术和自动化装备的提升，尽可能缩小与世界先进水平的差距。让本身就存在一定优势的技术可以和国际的先进水平相比拟，甚至完成超越，让个别重要的技术得到实质性的飞跃。机器人若想获取不同环境下图像形状、大小都要靠超声诊断机器人来实现，这也使机器人可以在不同复杂环境完成装配工作，使其在工业生产的自动化与智能化等方面起到了重要作用。

2 硬件结构设计

超声诊断机器人控制系统的硬件设计如图 1 所示。

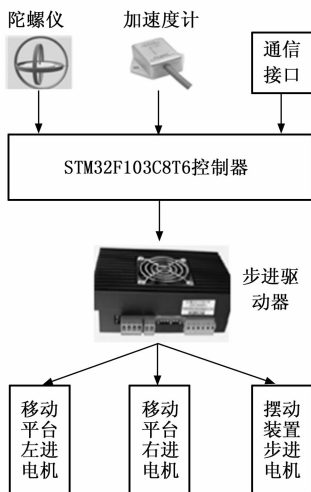


图 1 控制系统硬件结构设计

机器人位置的采集主要由两种传感器完成，即陀螺仪和加速度^[5]，控制命令和对机器人的状态由通信接口接收。不仅仅是用于移动平台上的左右电机，摆动装置的电机也是步进电机。不同电机的旋转都是由控制器控制的，而控制器则是靠步进电机控制。传感器滤波模块的作用是实现陀螺仪滤波加速。机器人位置的计算是依靠计算模块完成的，主要结合滤波后传感器发出的数据来计算。而机器人的纠偏控制则是依靠机器人当前所在的位置和设定好的位置之间的偏差来计算的，并由机器人运动控制辅助模块完成。

2.1 控制器

控制系统的核心部分是控制器，采用的是 STM32F103C8T6 单片机，该单片机的 Flash 为 64 kB，其工作频率可以达到 72 MHz，是由意法半导体公司生产的建立在 ARM CortexM3 一内核之上的 32 位增强型单片机，不仅成本低，而且耗能也很低，但是具有很高的性能。它的外观设计非常丰富，除了 PWM 输出等，在进行传感器和驱动接口电路设计上也非常方便。由于 STM32F103C8T6 的封装 LQFP，这种方式的封装使得 PCB 的设计和在进行手工焊接时也变得很方便，而 PCB 则是使用了两层板的设计理念，大小仅仅是 48 mm×40 mm。

控制器作为一种主令装置，控制电机启动和调速^[6]，当控制器接收指令后，采取顺序执行模式改变主电路和控制电路的接线以及对电路中电阻值。控制器的主要作用是对整个计算机系统协调和指挥，它作为“决策机构”，决定所发出的命令是否执行。

2.2 步进驱动器

步进电机驱动器作为一种执行机构，它的主要作用是电脉冲与角位移的转化^[7]，型号选择 3MC58。每当它接收到脉冲信号时，就会驱动步进电机转动步距角，即根据之前设定好的方向转动固定角度，该旋转则是按照一个固定的角度逐步完成的。角位移量的控制是通过脉冲的个数进行控制的，以实现更加准确的定位。为了调速以及定位，还可以与此同时进行电机转动的速度和加速度的控制，该控制主要是对脉冲频率的控制。

3MC580 数字式步进驱动器，采用的是最新一代的 DSP 技术，它更加适用于 57/86 三相步进电机的驱动。它的驱动电压是 DC20V 到 DC50V 之间，驱动电流则可以达到 8A。因为它可以在 256 之间进行随意的细分，而且在不超过额定电流的前提下，可以设定任何电流值，可以达到大部分中小型设备的需求。该驱动器内部的参数可以进行独自的修整与完善，可以自己根据不同的电机生成适合该电机的最佳参数，让电机达到最适宜的工作性能，整个过程不需要人为操作。

3 软件设计

3.1 图像分割程序

通过图像分割技术检测图像边缘特征，从而提高图像分割精度和准确度，帮助诊断机器人提高诊断功能。

3.1.1 融合阈值分割与边缘检测

为了能够对目标完整分割，需要结合阈值分割与边缘检测两种方法^[8]，再结合图像的灰度与梯度信息来完成分割。具体的分割方法如下：

为了能够对目标完整分割，需要结合阈值分割与边缘检测两种方法，再结合图像的灰度与梯度信息来完成分割。具体的分割方法如下：

1) 若想实现初步图像融合，那么就要把分割法 Ostu 分割到的图像和检测算法 Canny 检测得到的轮廓图像加到一起；

2) 处理上个步骤得到的融合图像，采用区域生长法^[9]将上述图像进行最大轮廓融合方法处理：以图像的左上角为出发点，进行搜索，得到的首个非零灰度值的像素点作为区域生长的种子点；

3) 以 2) 得到的种子点为始点，以从上到下，从左到右，左上到左下，右上到右下的八个方向开始生长，规则是：步长为 N ，继续寻找下一个非零像素点，找到的满足上述条件的点，便把该点和之前的像素点都置为 1，再把纵横两向已经置为 1 的像素点作为目标填充上，一直到不再出现生产的生长点为止。

4) 通过对目标空洞的填补，使用形态学重构法获取完整目标轮廓；

5) 获得最终的目标分割图像，首先进行图像的腐蚀处理，主要利用形态学滤波，再做膨胀处理。

3.1.2 边缘特征提取

目标外围轮廓的提取是由 Hough 的变换实现的，直线的 Hough 变换方程为：

$$E = a \cos\theta + \beta \sin\theta \quad (1)$$

不同角度 E 值的计算复杂度是由 θ 能量化多少决定的。若 θ 经过过度的量化，变得特别粗时，那么直线上准确的 E 、 θ 值是找不到的；反之，计算量就会增多。结合直线的有效性^[10]，通过对边缘点累计的数量表征有效性，所以即可使用一个五元组进行一条有效直线的表示，如下所示：

$$L = ((x, y), (x', y'), E, \theta, N) \quad (2)$$

在上述的公式 (2) 中：直线的起始点坐标由 (x, y) 表示；直线的终点坐标由 (x', y') 表示；坐标原点到直线的法线距离为 E ；法线对横轴的角度为 θ ；存在于直线上的有效边缘的数量为 N 。

一个有待统计的边缘点所在直线算法为：先计算边缘点的 E 值，计算算法为 (1) 式；根据 E 值和 θ 值，计算出边缘和起始点之间距离；

提取完边缘线之后，需要去除一些比较短的线段，因为这些线段会使算法变得更加复杂，因为其没有办法作为区域分割的依据，所以需要将其去掉^[11]，根据有效值选择线段的去留，去掉小于某个阈值的线段，筛选出的略长的线段就作为图集中主要区域的轮廓线。

3.1.3 图像分割方案

分割方案具体流程如图 2 所示。

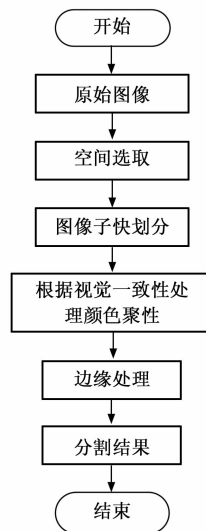


图 2 基于视觉特征图像分割流程

颜色量作为单独的处理过程，在该基础上，提出了结合图像块内颜色与纹理特征的分割方法，再按照特征融合的原理，对隐层处理，实现一定程度上的抗噪效果，并提取颜色特征和纹理特征，从而对全局的特性做出反映。结合子图像块区域的生长方式，以及失真代价动态更新的条件之下，建立了在视觉特征图像分割方法的方法，并对不同子图像块分割。

3.2 功能程序

系统功能程序通过分布式软件技术向客户端开放一组接口函数^[12]，接口函数将处理与控制系统各子系统进行交互的技术细节，将控制指令和参数发布给各子系统或从子系统获取状态信息。首先要启动客户机启动，然后建立 Socket，要使系统能接收客户的连接请求，具体流程如图 3 所示。

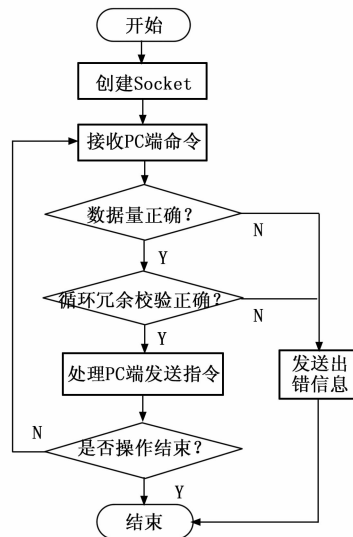


图 3 控制系统超声流程

系统客户端是要根据要求提供适合的操作界面。该界

面的设计需要可以确保充足的信息资源，而且要方便操作，数据量的传输上也要做到最大程度的简化。关于界面的控制，是选择直接控制的方法，也就是真实机器人的控制都是由操作人员直接发送的指令。

4 实验结果与分析

通过实验测试基于边缘检测的图像分割的超声诊断机器人控制系统设计合理性。

4.1 实验平台及数据

超声诊断机器人可以在已经提前设定好的轨迹上进行自动的超声检测，由该方法得到的数据具有稳定且可靠的特点，与预期的目标相吻合。采用医疗 CT 影像及对比标注数据集 (<https://www.kaggle.com/kmader/siim-medical-image-analysis-tutorial>) 作为实验数据，通过对比实验验证所设计系统的有效性。

4.2 图像分割检测分析

选取具有模糊边缘的超声诊断图像，实验目的是进行系统图像边缘检测分割算法的有效性验证，检测结果都比较满意的，经过检测的源图像都是 256×256 像素的灰度图像。

不同的图像在信息侵入后的数据效果都有着不同的区别，所收集图像在嵌入信息后的峰值信噪比如表 1 所示。

表 1 收集结果

嵌入率	峰值信噪比
0.2	53.9~54.0dB
0.4	50.0~51.0 dB
0.6	47.5~48.0 dB
0.8	42.0~45.0 dB
1.0	35.0~40.0 dB

当信息嵌入率为 0.2、0.4、0.6 bpp 时，峰值信噪比均大于 47 dB，而视觉质量则没有很明显的改变，没有办法对是否失真做出察觉。当信息嵌入率为 0.8、1.0 bpp 时，峰值信噪比都小于 47 dB。视觉质量随着信息嵌入率的增加逐渐出现了变化，同时峰值信噪比也随之不断下降。因此，选择嵌入率为 0.8、1.0 bpp 时的超声诊断图像，对图像质量展开分析，如图 4 所示。

从图 4 可以看出：原始图像都是清晰而且没有任何噪点的；(b) 嵌入率图像出现了画质不清晰现象，说明存在少量噪点；(c) 嵌入率图像，可以看出有一部分已经可以看出质量有下降的情况，将图片放大后可以看出大量噪点，整个图像都变得十分模糊。

将原始的图像作为参照组，分别采用传统方法及所设计系统对 0.8 bpp 和 1.0 bpp 嵌入率下图像进行分割，结果如图 5 所示。

由图 5 可知：0.8 bpp 嵌入率下整体分割效果大于 1.0 bpp 嵌入率，说明 0.8 bpp 嵌入率下的图像分割效果较好。采用传统方法对 0.8 bpp 嵌入率图像进行分割处理，分割效果平均值为 68%；而采用所设计系统对 0.8 bpp 嵌入率图像进行分割处理的分割效果平均值为 89%，说明所设计系

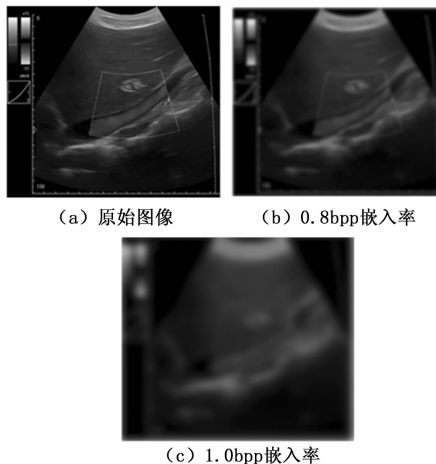


图 4 不同嵌入率对图像质量影响

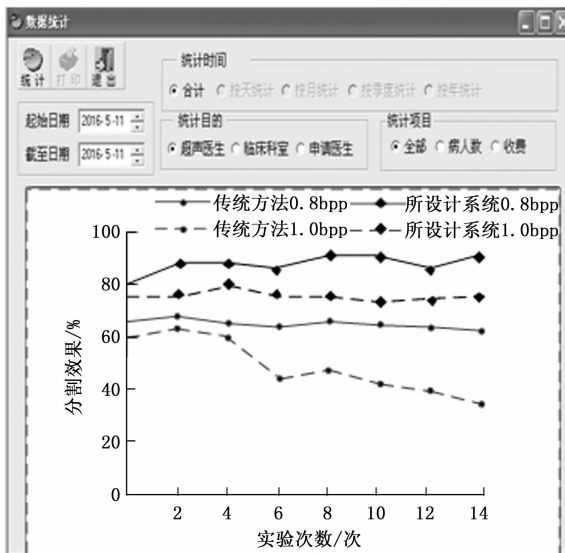


图 5 两种嵌入率下的图像分割效果

统的图像分割效果较传统系统有较大的提升。

4.3 诊断功能实验分析

基于上述分割情况，分别采用传统系统与所设计系统对两种嵌入率下的控制系统超声诊断功能对比分析，以图像分割效果为基础，两种系统对比结果如表 2 所示。

表 2 两种系统超声诊断功能对比结果

实验次数/次	传统系统		所设计系统	
	0.8 bpp	1.0bpp	0.8 bpp	1.0bpp
2	60%	50%	88%	75%
4	59%	51%	88%	80%
6	65%	52%	87%	79%
8	73%	40%	92%	78%
10	70%	52%	91%	75%
12	60%	50%	84%	76%
14	59%	40%	90%	77%