

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.11.023

基于图像识别的水下机器人自主避障系统

秦峰¹, 刘甜甜¹, 尤海鹏², 麦宇庭³, 赵黎明³, 陈言俊¹

(1. 山东大学工程训练中心, 济南 250002; 2. 山东大学控制科学与工程学院, 济南 250061;
3. 山东大学软件学院, 济南 250101)

摘要: 随着人类海洋活动的发展, 水下自主机器人成为海洋勘察和科学研究的重要装备。设计一种基于图像识别的水下机器人自主避障系统, 在无人干预的条件下实现机器人水下自主巡航、规避障碍、上浮下潜和实时数据传输。该系统采用 CMOS 模拟摄像头结合 LM1881 视频分离芯片提取视频模拟信号, MC9S12XS128 单片机外部中断功能和内部 AD 转换器转换成数字信号, 被转换出来的数据直接使用边缘检测算法实现障碍物的识别。数字信号和视频流也会经 nRF24L01 无线数据模块传到上位机, 上位机将数据接收后进行相应显示, 并可直接显示视频流, 对水下环境进行实时监控。同时无线视频采集卡的影像模块采用 OpenCV 库进行的二次开发, 完成上位机更加复杂的图像识别算法。并通过实例进行实验验证。实验结果表明, 该系统能通过图像识别实现自主的水底探测和避障, 具有较高的性价比和实用价值。

关键词: 图像识别; 水下机器人; 边缘检测算法; OpenCV

中图分类号: TP242 **文献标志码:** A

Autonomous Avoidance System of Underwater Robot Based on Image Recognition

Qin Feng¹, Liu Tiantian¹, You Haipeng², Mai Yuting³, Zhao Liming³, Chen Yanjun¹

(1. Engineering Training Center, Shandong University, Jinan 250002, China;
2. School of Control Science & Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China;
3. College of Software, Shandong University, Jinan 250101, China)

Abstract: With the development of human activities in the oceans, underwater autonomous robots have become important equipments for marine surveying and scientific research. In this paper, an avoidance system of autonomous underwater vehicle (AUV) is designed based on the image recognition technology, implementing underwater autonomous cruise, avoiding obstacles, floating and diving, real-time data transmission. The system uses a CMOS analog camera and LM1881 video separation chip to extract the analog video signal. The analog video signal is converted to digital signal by the MC9S12XS128 single chip external interruption function and internal AD transducer. Then the edge detection algorithm is used to recognize obstacles through the digital video signal. The digital signal and video streaming will be transmitted to the upper computer by nRF24L01 wireless data module. After the data is received, the program running on the host computer will display the data and picture to the screen, in order to monitor the underwater situation in real-time. At the same time, the video module of wireless video collection card uses OpenCV base to secondary development and realize more complex algorithm of upper PC. The results show that system realizes functions of obstacle avoidance and underwater surveying, thus indicating higher cost performance and practical significance.

Key words: image recognition; underwater robot; edge detection algorithm; OpenCV

0 引言

近年来, 水下机器人已成为机器人领域的重要研究方向之一^[1], 水下机器人比赛也逐渐发展成国际性大赛, 越来越多大学生参与到水中机器人的制作和研究中。水下机器人也称作潜水器 (underwater vehicle)。按照水下机器人的控制策略, 将其分为遥控水下机器人 (remotely operated vehicles, ROV) 和自主水下机器人 (autonomous underwater vehicle, AUV)。笔者针对中国水中机器人大赛的要求, 设计了基于图像识别的水下机器人自主避障系统, 实现了自主的水底探测和避障。

1 嵌入式图像采集及处理

机器人在检测水下障碍物时, 先采用摄像头拍摄水下环境以获取相应的视频信号, 用 LM1881 视频分离芯片分离该视频信号, 再通过 AD 转换将视频信号转换成数字信号, 最后采取边缘检测图像处理算法识别障碍物。

1.1 硬件设计

目前市场的模拟摄像头有 2 大主流: CCD 和 CMOS, 两者都是利用感光二极管进行光电转换, 将图像转换为数字数据, 其主要差异是数字数据传

收稿日期: 2012-06-29; 修回日期: 2012-07-26

作者简介: 秦峰(1975—), 男, 山东人, 本科, 工程师, 从事电子设计教学与竞赛研究。

送的方式不同。CCD 传感器中每一行中每一个像素的电荷数据都会依次传送到下一个像素中,由最底端部分输出,再经由传感器边缘的放大器进行放大输出;而在 CMOS 传感器中,每个像素都会邻接一个放大器及 A/D 转换电路,用类似内存电路的方式将数据输出,正因为如此,两者在效能与功能上有许多差异:CMOS 的缺点是成像质量差,分辨率较低和噪声较多,但电源消耗量比 CCD 低而且成本较 CCD 便宜很多。由于比赛时识别的物体是黑色,池底是浅蓝色,颜色对比度比较高,加之对成像质量的要求不高,所以选择使用 CMOS 摄像头^[2]。

1.2 下位机图像采集及处理的软件设计

为了对水底可能存在的障碍物进行识别以及避障,笔者将通过 AD 采样获取到的数字信号进行算法分析处理,采用边缘检测方法来实现障碍物的寻找。边缘检测算法分为行边缘算法和列边缘算法^[3]。

1.2.1 噪音处理

任何边缘检测算法都不可能在未经噪音处理的原始数据上计算出很好的结果,所以第一步是对原始数据进行噪音处理。将数据与高斯平滑模板^[4]作卷积,得到的图像虽然与原始图像相比有些轻微的模糊,但对于要进行边缘检测算法运算的图像数据,这点损失是微不足道的。单独的一个像素噪声在经过高斯平滑的图像上变得几乎没有影响。如图 1、图 2 所示。

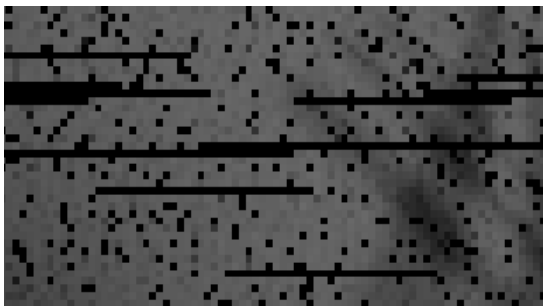


图 1 未经噪音处理的原始图像

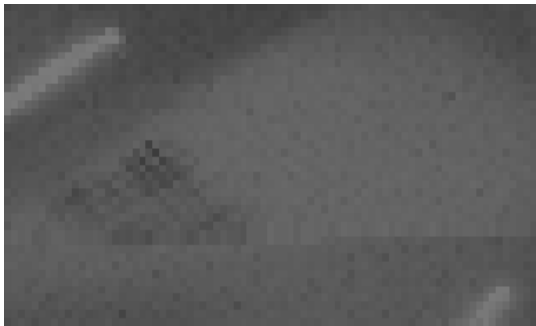


图 2 经过噪音处理后的图像

用正态分布计算图像中每个像素的变换。二维空间正态分布方程定义为

$$G(u, v) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(u^2+v^2)/(2\sigma^2)} \quad (1)$$

其中 σ 是正态分布的标准偏差。在二维空间中,这个公式生成曲面的等高线是从中心开始呈正态分布的同心圆。分布不为零的像素组成的卷积矩阵与原始图像做变换。每个像素的值都是周围相邻像素值的加权平均。原始像素的值有最大的高斯分布值,所以有最大的权重,相邻像素随着距离原始像素越来越远,其权重也越来越小。这样进行模糊处理更好地保留了边缘效果。

高斯平滑采用滤波器的大小也有讲究,会直接影响边缘检测算法的结果。较小的滤波器产生的模糊效果也较少,这样就可以检测较小、变化明显的细线。较大的滤波器产生的模糊效果也较多,将较大的一块图像区域涂成一个特定点的颜色值。这样对于检测较大、平滑的边缘更加有用。

1.2.2 边缘检测算法

系统中使用的边缘检测算法的核心是软件二值化算法。即首先对 AD 采集到的数字化图像中每一个点与黑白阈值进行比较,1 代表白色,0 代表黑色。然后对于二值化后的图像,该算法首先寻找列边缘。计数第 1 列黑点的数目,如果第一列黑点的数目超过阈值,认为该列有障碍物,此时记录下黑白变化的边缘;如果第 1 列黑点的数目未超过阈值,认为该列没有障碍物,则认为该列不存在障碍物边缘。以此方法依次对所有的 80 列进行同样处理。

对于每一场图像,若有连续的 x 到 $x+n$ 列(共 n 列)都检测到了边缘,同时 $x-1$ 和 $x+n+1$ 列没有检测到边缘,则认为物体列方向上的边缘是 x 和 $x+n$;因此,取得最大的连续边缘的数量 n ,并记录下边缘 $x+n$ 和 x 。

行边缘检测也同样可以使用同样的方法。若有连续的 y 到 $y+m$ 行(共 m 行)都检测到了边缘,而 $y-1$ 和 $y+m+1$ 行都没有检测到边缘信息,则认为物体行方向上的边缘是 y 和 $y+m$ 。

有了行方向上的边缘信息,列方向上的边缘信息,则物体的中心信息可通过简单的边缘信息平均得到,即 $(x+n/2, y+m/2)$ 。

尤其对于非第一场的图像,可以结合之前图像的历史中心位置信息来判断,因为在两场数据之间,物体的中心信息变化不会很大。对于非第一场图像,思路类似于第一场图像,但是充分利用了历史中心

位置信息: 首先将历史的物体中心信息取出, 以其为中心, 通过上述算法向两边找出行边缘信息和列边缘信息, 以有效地减小计算量。同时, 保存得到的新物体中心信息, 以备下一场继续使用。障碍物中心提取算法的流程如图 3 所示。

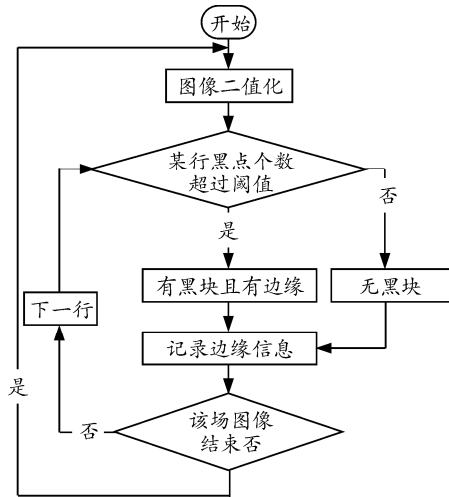


图 3 障碍物中心提取算法流程

2 上位机设计

上位机采用 VS2008 进行编程, 主要分为 3 个模块: 1) 提取视频流并显示; 2) 无线通信连接、数据接收与显示; 3) 无线数据的保存与还原播放。整体界面如图 4 所示。

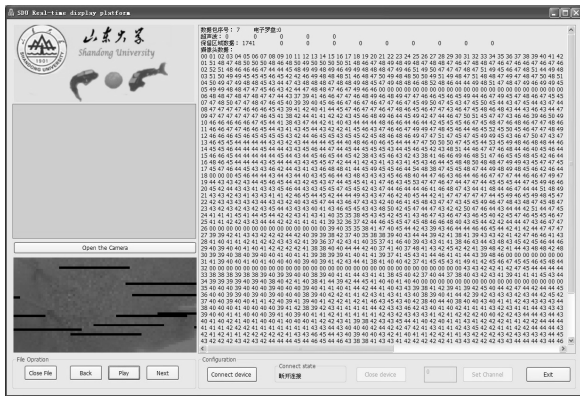


图 4 上位机界面

2.1 提取视频流并显示

CMOS 摄像头的原始视频信号通过基于基带传输的无线传输系统传输到视频采集卡。基带传输是完全硬件实现的无线数据传输, 在本系统中是一个功能独立的子系统, 与其他无线信号互不干扰。视频采集卡可以使无线的摄像头虚拟化, 编程时完全当作本地摄像头进行操作, 实现了物理独立性, 不仅降低了系统的复杂性, 还提高了系统的可维护性。摄像头采集到的模拟视频信号传输到上位机后可以

显示出较清晰的图像, 能够作为对水下环境和水下机器人行为的监控。同时该模拟信号可以使用 OpenCV 库进行处理和计算, 从而完成更加复杂的图像识别算法。模拟视频信号从采集、传输到处理显示的流程图如图 5 所示。

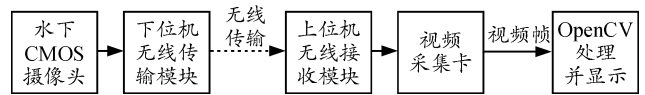


图 5 采集视频流程

2.2 无线通信连接、数据接收与显示

无线通信采用 NewMsg 公司生产的 nRF24L01 模块和 NetUSB-24L01 模块。

nRF24L01 是一款新型单片射频收发器件, 工作于 2.4 GHz 频段。内置频率合成器、功率放大器、晶体振荡器、调制器等功能模块, 并融合了增强型 ShockBurst 技术, 其中输出功率和通信频道通过程序进行配置。nRF24L01 功耗低, 在以 -6 dBm 的功率发射时, 工作电流也只有 9 mA; 接收时, 工作电流只有 12.3 mA, 多种低功率工作模式使节能设计更方便。

NetUSB-24L01 模块是 PC 端无线数据接收模块, 以 2.4 GHz 的无线频段进行无线数据接收, 并通过 USB2.0 协议同 PC 进行高速通信, 保证了高速通信质量, 并且在无线通信协议上实现严格的数据校验机制, 保证数据的可靠通信。

无线数据通信流程如图 6 所示。

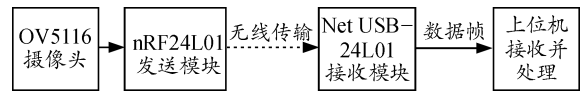


图 6 无线通信流程

接收数据模块采用 Windows 操作系统的消息传递机制进行设计: 当 NetUSB-24L01 接收到 nRF24L01 发送的数据包时, 产生自定义消息 RCV_MSG, 操作系统调用回调函数 OnNewMsg() 进行处理, 由于数据包可能在传输过程中丢失, 故在函数 OnNewMsg() 中进行了数据校验, 在确保大部分数据包没有丢失的情况下进行显示, 方便调试。

2.3 无线数据的保存与还原播放

为了方便调试和场景还原, 上位机实现了无线数据的保存和还原播放功能。在接收到数据帧的时候不仅将数据显示在文本框中, 还将数据保存到扩展名为 .fish 的二进制文件中。保存格式采用每一帧的接收格式, 在还原播放时将接收数据的来源重定向到 .fish 二进制文件即可, 达到了复用功能的目的。

在保存时通过每一帧的序列号进行存储, 读取文件时使用序列号可以直接定位到数据存储位置, 实现了随机读取的模式。在写文件时采用缓冲技术进行延迟写入, 这样可以防止程序在访问磁盘时候对数据的接收和显示产生影响。

3 上位机的基于 OpenCV 的标志物跟踪算法

在上位机采用 CAMSHIFT 算法对水中的标志物进行识别与跟踪, 对以后潜水器下水寻找目标物体的功能奠定了理论基础。

连续自适应的 Mean Shift (continuously adaptive Mean Shift, CAMSHIFT) 算法^[5], 是一个基于均值漂移 (Mean Shift) 算法^[6]的跟踪算法, 算法通过一个权值图像进行跟踪, 权值最大的地方对应着密度最大处, 即标志物的出现区域。

3.1 确定跟踪目标

首先给出潜水器需要寻找的标志物的图片, 利用 CAMSHIFT 算法将目标物进行颜色识别, 获得 HSV 颜色空间中的 Hue 色度分量, 计算标志物的颜色直方图 \hat{q}_u

$$\hat{q}_u = C \sum_{i=1}^n k(\|x\|^2) \delta[b(x_i^*) - u] \quad (2)$$

式中 C 为规范化常数, $k(x)=1$ 。

计算每一个点的权重用到该点的颜色在标志物图形中的概率密度表示, 公式为

$$\omega_i = \sum_{u=1}^m \hat{q}_u \delta[b(x_i) - u] \quad (3)$$

3.2 标志物跟踪过程

在输入需要跟踪的目标标志物后, 建立目标模型, 即可对采集到的视频进行分析, 从而达到识别并跟踪标志物的目的。

采集到视频图像后, 先计算出视频图像的颜色直方图, 然后与原标志物图像的颜色直方图进行对比, 如果其相似度较高, 则认为已经识别到目标标志物。然后再寻找标志物的具体位置, 这里通过计算图像区域的 0 阶距和 1 阶距进行搜索

$$M_{00} = \sum_{i=1}^n \omega_i \quad M_{01} = \sum_{i=1}^n \omega_i y \quad M_{10} = \sum_{i=1}^n \omega_i x \quad (4)$$

搜索中不断调整搜索区域的大小移动到标志物的中心位置, 从而计算出标志物的位置

$$((x_c, y_c) = (\frac{M_{10}}{M_{00}}, \frac{M_{01}}{M_{00}})) \quad (5)$$

得到标志物位置后可以充分利用已有信息, 在

下一帧的跟踪计算中将搜索区域的初始 0 阶距设为上一次的 M_{00} , 从而达到适应目标动态变形的目的。

3.3 实验结果

实验采用简单的矩形标志物作为跟踪目标, 上位机采集潜水器水中摄像内容进行标志物跟踪, 算法结果如图 7、图 8。

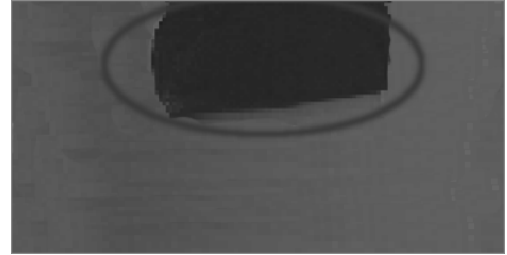


图 7 标志物跟踪算法实验过程 1

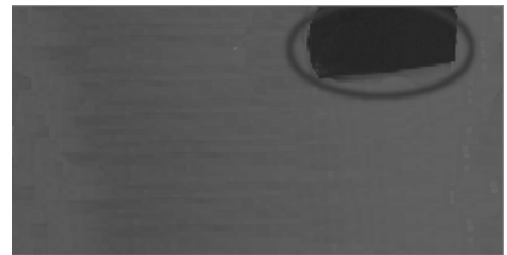


图 8 标志物跟踪算法实验过程 2

4 结论

水下机器人自主避障系统在下位机使用边缘检测算法对经过模数转换的数据进行运算, 在上位机采用 OpenCV 库做进一步运算, 进而对障碍物进行检测, 最终实现了自主的水底探测和避障。实验结果证明了该系统的正确性。

参考文献:

- [1] 喻俊志. 多仿生机器鱼控制与协调研究[D]. 中国科学院自动化研究所博士论文, 北京: 中国科学院, 2003: 1-2.
- [2] 宋敏, 邹新凯, 郑亚茹. CCD 与 CMOS 图像传感器探测性能比较[J]. 半导体光电, 2005, 26(1): 5-9.
- [3] 李二森, 张保明, 周晓明, 等. 自适应 Canny 边缘检测算法研究[J]. 测绘科学, 2008, 24(6): 119-120.
- [4] Canny J. A Computational Approach To Edge Detection, IEEE Trans[J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986(8): 679-714.
- [5] Bradski G R. Computer video face tracking for use in a perceptual user interface[J]. Intel Technology Journal, Q2 1998, 28(6): 705-740.
- [6] Comaniciu D., Meer P. Robust analysis of feature spaces: Color image segmentation[C]. San Juan, Puerto Rico. In International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE CONFERENCE PUBLICATIONS, 1997(6): 750-755.