文章编号：1000-8608(2008)01-0079-05

虾夷扇贝定向检测方法研究

林艾光*[1,2]， 孙宝元[1]， 马先英[2]

（1.大连理工大学 机械工程学院，辽宁 大连 116024；
2.大连水产学院 机械工程学院，辽宁 大连 116023）

摘要： 吊耳法养殖虾夷扇贝需要在钻孔前将扇贝按同一姿势排成一列. 机械定向方法易使扇贝受到振动、碰撞和边缘磨损，造成病贝、死贝. 为此提出了一种新的方法，利用机器视觉识别扇贝耳部朝向. 通过摄像头获取扇贝图像，采用计算机对输入图像进行预处理、图像分割，提取扇贝特征参数. 通过轮廓提取、改进的随机 Hough 变换检测背缘线，进一步根据背缘与形心的相对位置，确定扇贝耳部朝向. 试验表明，该方法检测速度快，正确率高，能够满足虾夷扇贝定向要求. 摄像头与扇贝不接触，可以避免机械振动、碰撞对扇贝的损伤.

关键词： 机器视觉；虾夷扇贝；耳部朝向
中图分类号： TP391.41 **文献标志码：** A

0 引 言

虾夷扇贝的养殖大致分为 3 个步骤：采苗、中间育成、本养成. 在本养成时常用的方法有吊耳法和笼养法. 采用吊耳法养殖，稚贝的成长比笼养好[1,2]；增加养殖容量，产量高；收获方便. 吊耳法需要在扇贝耳部开一个穿绳用的小孔，开孔的最适部位在右壳足丝湾入对应的左壳前耳部分. 该部分左右壳不对称，只在左壳一侧钻孔，成长好. 如果在其他部位钻孔，需要在左右两壳上钻孔，穿绳后两壳开闭产生障碍，影响摄食、呼吸，生长慢；而且容易伤害外套膜；后耳离心脏近，病贝、死贝的发生率高[1].

钻孔作业在手动供给的半自动钻孔机上进行. 一种是将扇贝水平放到定位装置上钻孔，另一种是将扇贝插到传送带上，由传送带送到钻头前钻孔. 两种方式都需要人工将扇贝一个一个地按一定姿势摆放到所定的位置，让足丝湾入对应的左壳前耳部分对准钻头钻孔. 扇贝的自动供给国内外均处于困难状态，业界期望本技术的开发.

迄今为止，扇贝钻孔作业自动化不可缺少的耳部定向有关的研究只有两例. 一例是在传送链下设置若干压缩弹簧，扇贝在传送途中受到弹簧力的作用旋转，达到耳部定向的目的[3]. 稚贝受到振动、碰撞，死亡率高[4,5]. 另一例是利用扇贝的形状特征，让其直立在两回转的辊子上，腹缘与辊子接触时旋转，前、后缘及耳部侧缘与辊子接触时停止旋转[6]. 该方法虽然可避免碰撞影响，但两辊间距不能随机调整，扇贝大小不一时，影响动作的准确性.

本研究以开发虾夷扇贝钻孔作业自动化不可缺少的耳部定向技术为目的，对利用机器视觉识别耳部控制定向的方法进行研究.

1 机器视觉系统

机器视觉系统如图 1 所示，主要由摄像头、计算机、照明装置和光源箱等组成.

采用大恒工业数字摄像机 DH-HV2002UC 和日本 CBC(Computar)M0814-MP FA 镜头. 图像分辨率 800×600，光圈 F2.8，快门 95 ms. 计算机采用东芝笔记本电脑，CPU 为迅驰 M20. 光源选择显色性好，颜色失真小的飞利浦白炽灯一只，功率 60 W，采用从上方打光的方式. 为便于后续图像处理，选择黑色绒布作为图像背景.

收稿日期： 2006-11-15； **修回日期：** 2007-12-15.
基金项目： 国家自然科学基金资助项目(50475152).
作者简介： 林艾光*(1959-)，女，博士生；孙宝元(1937-)，男，教授，博士生导师.

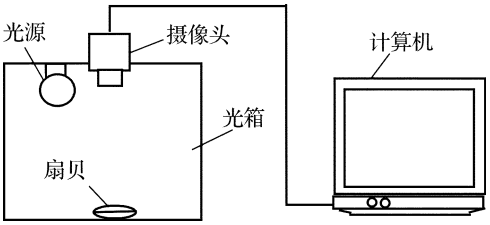

图 1 机器视觉系统示意图

Fig. 1 Block diagram of machine vision system

2 图像处理与模式识别

2.1 图像预处理

数字摄像机采集的图像为 24 位真彩色. 为便于后续处理,将其变换为灰度图像. 灰度处理后的灰度图像见图 2,其灰度级为 0～255.

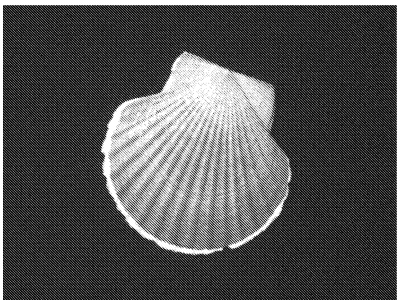

图 2 扇贝的灰度图像

Fig. 2 Gray scale image of scallop

2.2 图像分割

为了判别扇贝的耳部朝向,首先需要将扇贝与背景分割开. 这里采用阈值处理方法. 为确定合适的阈值,作灰度图像的直方图.

图 3 为典型扇贝灰度图像的直方图. 横坐标表示灰度级,纵坐标表示该灰度出现的频率. 直方图有明显的双峰,选择两峰之间的谷点作为阈值[7,8]. 大量的统计试验表明,扇贝谷点处的灰度值为 70 左右,因此本文的实验取阈值 $T=70$.

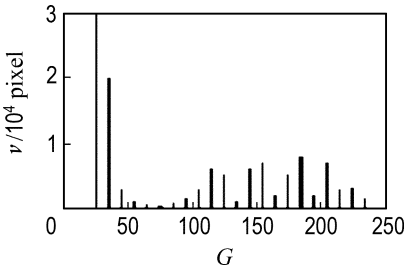

图 3 典型扇贝灰度(G)图像直方图

Fig. 3 Histogram of gray scale image of representative scallop

将灰度图像变换为二值图像,其表达式为

$$f_t(x,y)=\begin{cases}255; & f(x,y)\geqslant 70\\ 0; & f(x,y)<70\end{cases} \tag{1}$$

式中:$f(x,y)$为处理前图像在(x,y)处像素的灰度值;$f_t(x,y)$为处理后图像在(x,y)处像素的灰度值.

经过阈值变换后,黑色背景上仍有散在白色噪声,在白色目标上存在由阴影产生的黑色像素. 噪声影响后续特征的提取,采用中值滤波去除噪声. 中值滤波采用 3×3 结构,处理后的图像如图 4 所示.

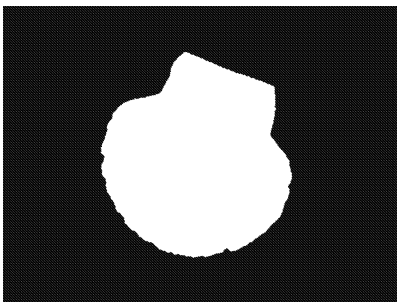

图 4 二值图像

Fig. 4 Binary image

2.3 特征提取

扇贝各部分名称如图 5 所示.

背缘是检测扇贝耳部朝向的重要特征. 如果能提取背缘所在直线,根据其与扇贝形心 O 的相对位置,即可判断耳部朝向.

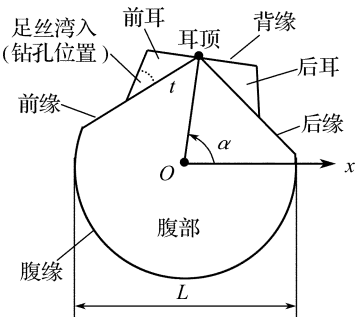

图 5 虾夷扇贝几何模型

Fig. 5 Geometric model of scallop

2.3.1 提取特征参数 为判别扇贝耳部朝向,需确定扇贝的形心位置及壳长.

图像分割后,背景为黑色,扇贝为白色. 扇贝区域中白色像素坐标的平均值即为形心坐标[9]:

$$x_0=\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n-1}x_i,\quad y_0=\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n-1}y_i \tag{2}$$

式中:x_0、y_0 为扇贝的形心坐标;n 为扇贝区域中包含像素数.

扇贝壳长[10]:

$$L=\sqrt{\frac{A}{0.776\ 6}} \tag{3}$$

式中：A 为扇贝面积，$A=\frac{n}{l\times h}$，l 为长度比例因子，h 为高度比例因子.

2.3.2　轮廓提取　为获得扇贝的轮廓特征，对二值图像作轮廓提取. 具体算法是：如果二值图像中有一点为黑，且它的 8 个相邻点都是黑色时，则将该点赋予白色[7]. 轮廓提取结果如图 6 所示.

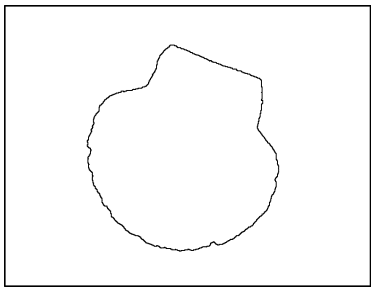

图 6　轮廓提取后图像

Fig. 6　Contour image

2.3.3　检测直线　背缘近似直线. Hough 变换受噪声和曲线间断的影响较小，采用 Hough 变换检测直线. Hough 变换的基本思想是点-线的对偶性[7~9,11]：欧氏空间的点对应于参数空间的一条正弦曲线，位于欧氏空间中一条直线上的所有点在参数空间中对应的正弦曲线都通过同一个点，即欧氏空间中的一条直线对应于参数空间中的一点(ρ,θ)，该直线可以表示为

$$\rho=x\cos\theta+y\sin\theta$$

其中 ρ 为极径，θ 为极角. Hough 变换的具体计算方法是将 ρ-θ 空间量化为许多小格，每一个格是一个累加器，对欧氏空间的每一点，将 θ 的量化值逐一代入上式，计算出对应的 ρ，所得的结果值(经量化)落在某个小格内，便使该小格的累加器加 1，即“投票”. 当完成全部点的变换后，对所有累加器的值进行检验，票数多的小格对应于参数空间(ρ,θ)的共线点，其(ρ,θ)是图像空间的直线拟合参数. 得票少的各小格一般反映非共线点，丢弃不用. 这种“投票”方法体现了 Hough 变换抗干扰的鲁棒性.

但是传统的 Hough 变换对存储空间要求很高，计算速度很慢. 为了克服上述缺陷，Xu 等[12,13]提出了随机 Hough 变换. 随机 Hough 变换的思想就是，参数化模型后，不直接定义量化了的参数空间. 相反，先对图像空间的数据点进行处理，首先随机选择数据中的两个点，它们必然惟一确定图像中的一条直线及其参数，该直线对应参数空间中的一个点，此时参数空间不存在累加数组，算法根据随机点对应的计算结果产生一个单元(ρ,θ)进行累加计数. 这个过程重复进行，每次对随机点对应的计算结果都在参数空间中先进行判断，如果已经存在相同参数(ρ,θ)，就对该单元累加计数，否则就产生一个新单元，并计数为 1. 这个过程直到数据点处理完为止. 随机 Hough 变换较传统的 Hough 变换而言，对存储空间的要求大大降低，计算速度也有所提高. 但随机采样会造成大量的无效积累和无效计算. 为了提高随机 Hough 变换的速度和效率，本文提出了一种改进的随机 Hough 变换.

在随机采样后，首先计算采样点的梯度方向信息，如果随机采样点在同一条直线上，那么理想情况下，这两点的梯度应该相等. 设边缘在采样点 n 的梯度方向为 α_n，考虑到计算获得的梯度方向精度不高，预先指定一个阈值 T，对于随机采样获得的两点 d_1 和 d_2，首先判断边缘在这两点处的梯度方向 α_1 和 α_2 是否满足 $|\alpha_1-\alpha_2|\leqslant T$，若不满足，则认为这两点不在同一直线上，完成采样点计数后立即重新采样，而不进行后继处理；若满足，则认为这两点可能在同一直线上，进行累积等后继处理，这样就较好地解决了无效累积问题. 算法的具体步骤如下：

(1)构造边缘点集 D，初始化参数单元集 $P=$NULL，循环次数 $k=0$；

(2)从 D 中随机选取两个点 d_1、d_2；

(3)判断边缘在这两点处的梯度方向 α_1 和 α_2 是否满足 $|\alpha_1-\alpha_2|\leqslant T$，若满足，则转步骤(4)，否则转步骤(8)；

(4)计算过这两点直线的法线方向 θ 和代数距离 ρ，构成过这两点直线的参数 p；

(5)在 P 中找一个 p_c，满足 $p=p_c$(或者 $\|p-p_c\|\leqslant\delta$，δ 是容许误差)，若找到了则转步骤(7)，否则转步骤(6)；

(6)将 p 插入 P，令其 score 为 1 转步骤(8)；

(7)将 p_c 的 score 加 1，若小于指定阈值 N_t，转步骤(8)，否则转步骤(9)；

(8) $k=k+1$，若 $k>K_{max}$，则结束，否则转步骤(2)；

(9) p_c 为候选直线的参数，判断该候选直线是否为真实直线，若该参数对应直线上的点数 $M_{p_c}>M_{min}$，则转步骤(10)；否则为虚假直线，从 P 中去除 p_c，转步骤(2)；

(10)检测到参数为 p_c 的真实直线，判断已检测到的直线数是否已达到规定的数目，若是，则结束；否则将落在参数 p_c 对应直线上的点从 D 中

去掉，重置 $P=\mathrm{NULL}$，$k=0$，转步骤(2).

采用改进的随机 Hough 变换方法对实际扇贝图像进行了检测，其典型检测结果如图 7 所示.

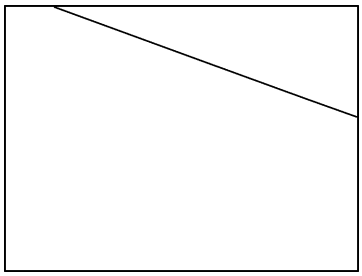

图 7 改进的随机 Hough 变换后图像

Fig. 7 Enhanced Random Hough transform image

2.4 识别耳部朝向

由 Hough 变换得到的直线，可以计算背缘的斜率，判断背缘的倾斜方向. 但仅凭直线的斜率不能判断耳部朝向. 例如当扇贝耳部朝向与图 2 相反时，其图像处理后检测的直线与图 7 所示的直线平行，斜率相等.

由式(2)可求扇贝的形心坐标，根据直线与形心 O 的相对位置可判断耳部朝向.

具体算法是遍搜直线上所有的点，计算点到形心 O 的距离. 距离最短的是形心到直线的垂线，将垂足坐标赋给耳顶 t.

耳顶 t 和形心 O 的连线 tO 与 x 轴的夹角即扇贝耳部朝向，其表达式为

$$\alpha=\arctan\left(\frac{y_t-y_0}{x_t-x_0}\right) \tag{4}$$

式中：α 为耳顶和形心的连线 tO 与 x 轴的夹角；x_0、y_0 为扇贝的形心坐标；x_t、y_t 为扇贝的耳顶坐标.

耳顶和形心的连线 tO 的方程：

$$\frac{y-y_0}{y_t-y_0}=\frac{x-x_0}{x_t-x_0} \tag{5}$$

因为背缘垂直于耳顶和形心的连线，所以背缘与 x 轴的夹角

$$\theta=\alpha-90^\circ \tag{6}$$

背缘线的方程：

$$y-y_t=\tan\theta(x-x_t) \tag{7}$$

实际工作时，根据定位装置的形状控制执行装置旋转 θ 或 α 角使耳部朝向一致，达到耳部定向的目的.

3 结果与分析

实验验证了本文算法思想的有效性. 对 75 个扇贝以任意姿势拍照，图像处理后对其耳部朝向进行识别. 实验结果表明耳部朝向识别正确 71 个，正确率达 94.67%. 在朝向识别正确的扇贝中，背缘与 x 轴夹角的识别值与测量值的最大误差为 4.76°，最小误差为 −3.93°，平均误差为 0.08°.

误差产生的主要原因是扇贝的背缘上有生长纹，使得背缘不是理想直线. 而且随着壳长增大，右壳前耳背缘略微膨出，以耳顶为顶点呈放射状，使得前背缘和后背缘不在同一条直线上. 由图 8 可见，壳长较小时，误差多为正值，壳长大于 60 mm 后，误差为负值的几率增加. 因为检测的直线是前背缘的几率增加.

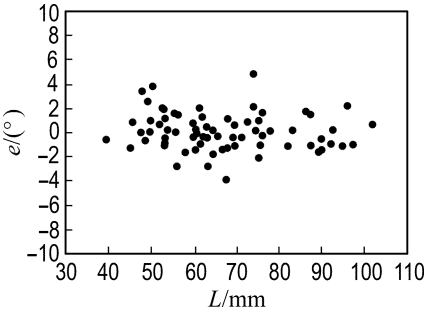

图 8 误差与壳长的关系

Fig. 8 Relationship between error and shell length

实验表明，算法在速度上有较大的提高. 以图 6 为例，采用标准 Hough 变换检测背缘用时 246 ms；采用改进的随机 Hough 变换检测背缘用时 61.1 ms. 因为标准 Hough 变换检测时间比较稳定，进行 2 次测试；随机采样导致随机 Hough 变换检测时间不稳定，测试重复 10 次，以上数据是各自平均的结果. 改进的随机 Hough 变换的检测速度大约是标准 Hough 变换的 4 倍.

改进的随机 Hough 变换，是先判断在边缘随机采样获得的两点处的梯度方向是否满足 $|\alpha_1-\alpha_2|\leqslant T$，满足条件的就进行后续处理. 如果阈值 T 取得过大，必然使无效累积增加；阈值选得过小将检测不到背缘线，因为背缘不是理想直线. 通过试验本文采用阈值 $T=\pi/180$.

扇贝边缘除背缘外还有耳侧边缘、前缘、后缘等多条直线，每一个扇贝的大小又不相同，如果判断候选直线是否为真实直线的阈值 $M_{\min}$ 取固定值，取值小，适合尺寸小的扇贝，对大的扇贝会造成错检，例如检出的直线是耳侧边缘线；取值大，适合尺寸大的扇贝，将使小贝检测不到直线. 为保证所检直线是背缘，而且适合每一个扇贝，$M_{\min}$ 的取值动态确定. 在特征提取时，先利用式(3)计算每一个扇贝的壳长 L，因为前背缘长 $S_1=L/4$，

背缘长 $S=L/2$，耳侧边缘长度略小于前背缘. 当 $M_{min}\leqslant Ll/4$ 时，容易错检耳侧边缘线；当 $M_{min}\geqslant Ll/2$ 时，将检测不到直线. 取 $Ll/4\leqslant M_{min}\leqslant Ll/2$，介于前背缘长和背缘长之间，以确保所检直线是背缘所在直线. 本文取 $M_{min}=3Ll/8$.

实验时布光注意尽量辐照均匀，避免阴影. 试测时由于光线斜射，在腹部与耳部交界的地方有阴影，阴影在图像分割后表现为黑色像素与前缘连成一条直线，该线比背缘长，因此 Hough 变换后检测的直线不是背缘而是前缘. 如条件有限无法避免阴影时，可对轮廓提取后的图像做一次轮廓跟踪，使轮廓内部点、线全部去除，以保证 Hough 变换检测的直线是背缘线.

4　结　语

本文以开发虾夷扇贝钻孔作业自动化不可缺少的耳部定向技术为目的，利用机器视觉相关技术，提出了一种简单有效的耳部识别定向方法. 通过改进的随机 Hough 变换，提高了检测速度. 由于本文采用的方法与扇贝不接触，有效地避免了振动、碰撞和摩擦对扇贝的损伤，具有较好的实用价值.

参考文献：

[1] 境 一郎. 日本におけるほたて貝増養殖[M]. 札幌：水産北海道協会，1976

[2] 北海道水産新聞社. 新版・ホタテガイ取扱の手引き[M]. 札幌：北海水産新聞社，1992

[3] 五香秀治. 二枚貝連続供給装置：日本，平4-53431[P]. 1992-02-21

[4] 見上隆克. 水産シリーズ31. ホタテ貝の増養殖と利用—増養殖の体系化にむけて. 5，機械化技術の考え方[M]. 東京：恒星社厚生閣，1980

[5] 森勝義，菅原義雄，小畑一臣. 三陸沿岸における養殖ホタテ貝の大量へい死に関する研究Ⅰ. 貧栄養＋振動の両実験下で発生するへい死について[J]. 魚病研究，1974，**28**(9)：10-18

[6] 林艾光，矢田貞美. 養殖用ホタテ稚貝の耳揃え制御方法に関する研究[J]. 水産工学，1997，**34**(8)：1-8

[7] 何　斌，马天宇，王运坚，等. Visual C++数字图像处理[M]. 北京：人民邮电出版社，2001

[8] CASTLEMAN K R. 数字图像处理[M]. 朱志刚，林学闾，石定机，等译. 北京：电子工业出版社，2002

[9] 陈兵旗，孙　明. Visual C++实用图像处理专业教程[M]. 北京：清华大学出版社，2004

[10] 林艾光，孙宝元，矢田贞美. 基于机器视觉的虾夷扇贝分级检测方法研究[J]. 水产学报，2006，**30**(3)：397-403

[11] 章毓晋. 图像工程(上册)：图像处理和分析[M]. 北京：清华大学出版社，1999

[12] XU L，OJA E. Randomized Hough transform：Basic mechanisms，algorithms and computational complexities [J]. **Computer Vision Graphic Image Processing：Image Understanding**，1993，**57**(2)：131-154

[13] XU L，OJA E，KULTANED P. A new curve detection method：Randomized Hough transform(RHT) [J]. **Pattern Recognition Lett**，1990，**11**(5)：331-338

Study on detecting method of scallop direction guiding

LIN　Ai-guang[*1,2]，　SUN　Bao-yuan[1]，　MA　Xian-ying[2]

（1. School of Mech. Eng.，Dalian Univ. of Technol.，Dalian 116024，China；
2. College of Mech. Eng.，Dalian Fisheries Univ.，Dalian 116023，China）

Abstract：Scallop (*Patinopecten yessoensis*) culturing by ear-hanging method demands drilling hole on the ear for which an equipment for automatic in-line positioning and posturing of the scallop shell is required. Normally，scallop is undergoing vibrating，bumping and wearing when it is touching the mechanical parts for orienting，which will cause the diseases or death. A novel method for ear-orienting recognizing of the scallop shell is developed based on machine vision. Images taken by digital camera are preprocessed and segmented automatically by a computer to get scallop feature parameters. Back-edge is detected through contour-extracting and enhanced random Hough-transform. And the ear-orient is confirmed by analyzing the relative positions of back-edge and center of gravity. The results show that the new method can do the ear-orienting work both rapidly and accurately without vibrating，bumping and damage because of touch-free between camera and scallop.

Key words：machine vision；scallop；ear-orienting