



## 奶牛乳腺组织体积测量方法的研究

胡晓彤, 黄为庆

(天津科技大学计算机科学与信息工程学院, 天津 300222)

**摘要:** 首先,利用机器视觉技术获取奶牛乳房外形的三维描述,并与超声图像分析获得的乳腺分布区域深度信息结合,构建乳腺分布区域的内外层三维网格,从而测算该区域的体积.然后,对乳腺超声图像进行分析,利用局部聚类及区域标记法等分割出乳腺组织部分,并计算乳腺组织的面积密度.最终利用体视学中面积密度与体积密度相等的关系,求得乳腺组织的体积.模拟实验也验证了此方法的可行性.

**关键词:** 双目视觉; 超声图像; 三维点云; 体视学

**中图分类号:** TP391.4      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-6510(2012)03-0071-04

### Study of the Measuring Method Based on Volume of Mammary Tissue of Dairy Cows

HU Xiaotong, HUANG Weiqing

(College of Computer Science and Information Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

**Abstract:** After getting a three-dimensional description of the outward features of the cow breast and depth information about the distribution region of the cow breast based on the analysis of ultrasound images, a three-dimensional grid of this area, both the inner and outer parts, can be built, and the volume of the entire organization can be estimated. By using algorithm local clustering and region labeling to process and analyze the ultrasound image, the area of the breast and fat can be separated in order to calculate the proportion of the breast. The volume of breast tissues can be computed based on the principle that the area density is equal to its volume density. Simulation results have verified the feasibility of the method.

**Key words:** binocular vision; ultrasound image; three-dimensional point; stereology

奶牛乳腺组织体积的测量对于早期选种、饲养方案的确定具有重要意义.奶牛乳房性状主要包括前房附着、后房高度、后房宽度、悬韧带、乳房深度和乳头长度,是影响产奶量的重要因素,国内外学者们对此有较多的关注<sup>[1-3]</sup>.然而,由于乳腺组织夹杂在皮下组织、脂肪中间,所以采用传统方法无法实现活体奶牛乳腺组织的体积测量.而采用解剖等方式,虽然可以观察该时刻腺体组织发育情况,但无法获得其后的产奶量等数据,也无法了解同一个体在整个生长周期内乳腺组织体积变化的情况.

为此,本文提出一种将奶牛乳房三维点云与基于超声图像的内部组织结构特征分析相结合的活体奶牛乳腺组织体积测量方法.首先利用计算机双目视

觉技术及基于超声图像的测量获取描述奶牛乳腺组织分布区域的内外层点云数据,从而计算出腺体组织分布区域的总体积,然后利用超声图像分析和测算出乳腺的面积密度,最后基于体视学原理计算乳腺组织的体积.

#### 1 奶牛乳房点云及其法向量

乳腺体积的估算,首先要解决奶牛乳房三维描述的获取问题;其次要解决乳房表层点云对应的法向量的提取问题.从文献[4]已获得的奶牛外形的三维点云中分离出乳房部分,即可获得如图1的奶牛乳房外形的三维点云.图1中采集点的个数为1267.

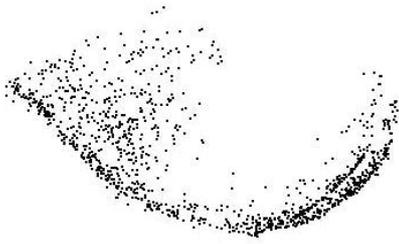


图1 奶牛乳房的三维点云

Fig. 1 Three-dimensional point of cow udder

本文是将外形三维点云与从超声图像获得的乳腺分布区域的深度信息相结合,确定乳腺分布区域的内外层点云. 因此需要计算出外部点云的法向量,才能够在法向量方向上计算出内层点云的位置信息.

利用基于椭球面的方法计算点云的法向量的基本思路是,利用乳房表层点云及其  $k$  个邻近点构建拟合曲面,以该曲面在该点处的法向量作为该点的法向量. 首先对每一个点进行遍历,求出其到其他点的距离,然后进行排序,从而获得所需的邻近点;然后利用椭球面来近似上述邻近点的二次曲面,从而获得点在椭球面的法向量. 椭球的方程为

$$F(x, y, z) = m_0x^2 + m_1y^2 + m_2z^2 + m_3x + m_4y + m_5z + m_6 \quad (1)$$

选取 6 近邻确定的 6 个点和要求得法向量的点共 7 点,可以求得方程(1)的系数. 则对应点  $P(x, y, z)$  的法向量为

$$\begin{cases} F_x(x, y, z) = 2m_0x + m_3 \\ F_y(x, y, z) = 2m_1y + m_4 \\ F_z(x, y, z) = 2m_2z + m_5 \end{cases} \quad (2)$$

由式(2)可求得单位法向量为  $n(e_1, e_2, e_3)$ , 假设平移的距离为  $d$ , 则平移后的点云为  $S(x', y', z')$ :

$$\begin{cases} x' = x + de_1 \\ y' = y + de_2 \\ z' = z + de_3 \end{cases} \quad (3)$$

通过基于椭球面标定法向量法得到的点云与对应法向量如图2所示.

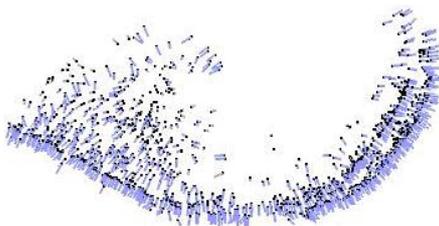


图2 奶牛乳腺点云及法向量

Fig. 2 Cow breast point and normal vector

## 2 乳腺超声图像分析

超声图像作为活体组织的一种截面图像,能够反映内部组织分布特征. 图3是乳腺的超声图像,是对乳房切面的描述,其中包含皮层、浅筋膜浅层、皮下脂肪组织、韧带、乳腺、乳腺后脂肪组织等组织.

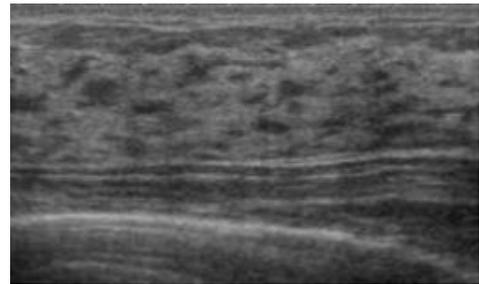


图3 奶牛乳腺超声原图

Fig. 3 Cow breast ultrasound image

只要把乳腺组织从超声图像中分离出来,就可计算其在乳房内部所占比例. 因此,须对乳腺超声原图像进行分割,把乳腺组织作为目标区域,其他的组织(如皮下组织、韧带等)作为背景,把问题抽象为超声图像两分类分割问题. 利用均值聚类<sup>[5]</sup>作为图像分割的方法,白色用灰度值 255 表示,作为目标;黑色用 0 表示,作为背景.

K 均值聚类是一种迭代的聚类算法,迭代过程中不断地移动聚类中心直至得到理想的聚类为止. 把  $n$  个对象划分成  $c$  个聚类,以使聚类内具有较高的相似度,聚类间的相似度较低. 其中,相似度根据聚类的中心计算,即根据聚类中各对象的平均值来计算. 平方误差准则为式(4).

$$J = \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^{n_j} \|x_k^{(j)} - m_j\|^2 \quad (4)$$

$$m_j = \frac{1}{n_j} \sum_{k=1}^{n_j} x_k \quad (5)$$

式中:  $c$  表示聚类的数目,这里取 2, 即两类;  $n_j$  表示每一类的样本个数;  $x_k^{(j)}$  表示属于第  $j$  类的第  $k$  个样本,是像素的灰度值;  $m_j$  为每一类的中心. 如果前一次的平方误差大于后一次的平方误差,继续迭代;反之,则停止迭代.

图4是对图3采用 K 均值聚类方法获得的分割结果. 可以看出,利用 K 均值聚类方法的分割结果不理想,如图像上部的皮下脂肪部分(黑色区域)的分割效果不佳. 为此,采用局部聚类法进行图像块内的聚

类分析. 即将图像在垂直和水平方向分别进行二等分后, 在图像块内进行聚类分割. 由图 5 可以看出, 采用局部聚类的分割效果与全局聚类法相比有较大的改善, 采用局部聚类处理的图像中奶牛乳腺的分布区域比采用均值聚类中乳腺的分布区域更准确.



图 4 K 均值聚类处理后的图像

Fig. 4 Image after being processed with the method of K-means clustering



图 5 利用局部聚类处理后的图像

Fig. 5 Image after being processed with method of local clustering

### 3 乳腺组织提取

由于超声图像中存在噪声的缘故, 在图 5 中可观察到白色区域中夹杂少量黑色像素, 同时黑色区域夹杂着少量白色像素. 为了更准确地从整体分布比例方面计算乳腺组织的面积密度, 必须对聚类分析的图像进行去噪处理.

本文采用连通区域标记的方法, 对图像进行去噪处理, 以提高乳腺组织提取的精度. 传统连通区域标记<sup>[6]</sup>方法的效率低, 尤其是在重复性标记发生率高的情况下, 其效率更低; 采用基于区域增长的方法<sup>[7]</sup>对图像进行标记可以有效地解决传统区域标记方法的缺陷.

首先, 对输入的二值图像施行逐行扫描, 找到一个未标记区域的第一点, 标记该点; 检查该点的八邻域点并标记满足连通性要求的且尚未被标记的点, 同

时将新增的标记点记录下来作为“区域增长”的种子点. 在后续的标记过程中, 不断从记录的种子点数组中取出一个种子, 如此循环, 直到记录种子点的数组为空, 一个连通区域标记结束. 继续标记下一个未标记区域, 直到输入二值图像的所有连通区域都被标记. 图 6 所示为将图 5 中像素个数小于 10 的连通区域去除后的结果.

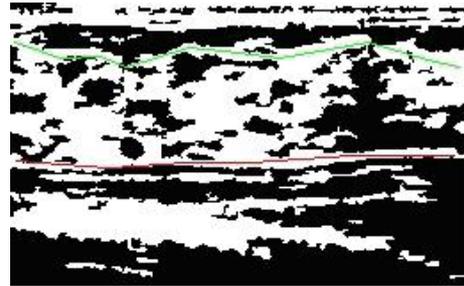


图 6 采用区域增长方式处理后的图像

Fig. 6 Image after being processed with the method of region-growing algorithm

由于超声图像中的白色部分并不全是乳腺组织, 因此需要根据乳腺内部组织分布特征, 采用人机交互的方式确定乳腺组织分布区域后方可最终确定乳腺组织的位置. 图 6 中的乳腺分布区域的上层与下层分别用若干条线段描述, 以便确定乳房中乳腺组织的分布区域, 两条折线间的白色部分即为乳腺组织.

### 4 基于体视学的乳腺组织体积测量

体视学<sup>[8]</sup>是近 20 年来迅速发展起来的一门新兴学科. 体视学的基本目的是要从组织的二维结构定量认识其三维结构. 1848 年, 法国地质学家在研究岩矿的过程中通过积分推导首先证明: 某一成份在平面的面积密度  $A_A$  等于其在三维结构中的体积密度  $V_V$ , 后来又相继证明了  $V_V = L_L$  和  $V_V = P_P$ .  $L_L$  为线密度,  $P_P$  为点密度. 根据体视学第一定律:

$$V_V = A_A \quad (6)$$

已知乳房的体积及超声图像中乳腺组织的面积密度, 可以计算得到活体奶牛乳腺组织的体积.

其中, 乳房的体积指分布有乳腺组织部分的体积. 该体积的测量可以利用图 6 中测量出的乳腺组织分布区域的深度信息, 即图像上边界与下部折线间的平均距离  $d$ . 将乳房表层点云沿其法向量方向平移距离  $d$ , 即可得到如图 7 所示的乳腺分布区域的下层点云; 然后利用基于点云的体积测量方法<sup>[9]</sup>计算分布有乳腺组织部分的体积.



图7 内外层三维点云重构图

Fig. 7 Reconstructed images of inner and outer three-dimensional point cloud

在图6中,超声图像的上边界对应乳房表皮,图像下部的折线对应乳腺组织分布区域的内边界,因此超声图像中乳腺组织的面积可由该区域内白色像素数量表征,记为 $A_C$ ;上边界与下部折线间图像区域的总像素数记为 $A_X$ ;由此两部分的比值可以求得乳腺组织的面积密度 $A_A$ 。

利用乳腺组织的面积密度以及乳房表层与乳腺下层之间的体积 $V_X$ ,通过式(7)就可得乳腺组织的体积。

$$V_C = V_X A_A \quad (7)$$

由于超声图像采集位置不同可能会使计算得到的乳腺面积密度有所不同,因此采用多张超声图像测定其面积密度,然后以多张图像中面积密度的平均值作为最终的面积密度。

## 5 模拟实验

在实验室中利用自制模型进行模拟实验,模型用彩色材质制作,体积已知。模型如图8所示,图中左侧为三维模型的切面图像,其中白色部分为模拟乳腺。



图8 三维模型与切面图

Fig. 8 3D model and section

首先利用模型的切面图像计算面密度,然后根据式(7)计算理论的模拟乳腺体积,并与实际体积比较。对两个模型的计算结果见表1,其中 $V_P$ 为模拟乳腺的实际体积。可以看出,通过此方法求得的模拟乳腺的体积与实际体积的相对误差 $<1\%$ ,方法可行。

表1 模拟实验结果

Tab. 1 Experiment results of different images

参数	模型 I	模型 II
$V_X/\text{cm}^3$	19.681 2	9.798 5
$V_P/\text{cm}^3$	4.989 6	3.124 0
$V_C/\text{cm}^3$	5.032 5	3.097 7
$A_C$	34 567	94 658
$A_X$	135 188	29 820
$A_A$	0.255 70	0.316 14
相对误差/%	0.859 8	0.841 9

## 6 结 语

本文提出一种针对活体的奶牛乳腺组织体积测量方法,使得活体奶牛乳腺组织体积的测量成为可能。利用计算机双目视觉获取奶牛乳房外形的三维信息,并利用超声图像分析及体视学理论,将外部形态特征和内部组织分布特征相结合,从而计算奶牛乳腺组织的体积。模拟实验验证了本文方法的可行性。

由于活体实验具有破坏性,目前仅完成实验室阶段的相关研究和模拟实验。下一阶段计划采集大量活体奶牛数据进行深入研究,进一步验证本文方法。

## 参考文献:

- [1] 程郁昕,方必春,高士宝. 荷斯坦奶牛 305 天奶量与乳房性状的相关性分析[J]. 黄牛杂志,2005(5):9-11.
- [2] Sieber M, Freeman A E, Hinz P N. Comparison between factor analysis from a phenotypic and genetic correlation matrix using linear type traits of Holstein dairy cows[J]. Journal of Dairy Science, 1988, 71(2):477-484.
- [3] 刘云芳,王新峰,李明强,等. 荷斯坦奶牛产奶量与乳房性状的通径分析[J]. 中国奶牛,2001(5):30-32.
- [4] 胡晓彤,赵宗晓. 基于三维测量的奶牛体型性状指标的数据采集[J]. 天津科技大学学报,2011,26(3):63-68.
- [5] 谢维信,高新波,裴继红. 模糊聚类理论发展及其应用[J]. 中国体视学与图像分析,1996,4(2):113-119.
- [6] 刘相滨,向坚持,阳波. 基于八领域边界跟踪的标号算法[J]. 计算机工程与应用,2001(23):125-126,132.
- [7] 王亮,黄飞,冯少彤,等. 一种改进的二值图像像素标记算法[J]. 南京师范大学学报:工程技术版,2006,6(2):23-25,29.
- [8] 申洪. 实用生物体视学技术[M]. 北京:清华大学出版社,1991.
- [9] 胡晓彤,陶森柏. 基于散乱点云的快速体积计算法[J]. 天津科技大学学报,2011,26(1):67-71.

责任编辑:常涛