

肉中异物 X 射线检测的肉厚度激光双三角测量方法*

洪冠^{1,2} 赵茂程¹ 汪希伟¹ 商庆清¹ 居荣华³ 吴志威¹

(1. 南京林业大学机械电子工程学院, 南京 210037; 2. 南京铁道职业技术学院, 南京 210015;
3. 南京食品包装机械研究所, 南京 210029)

摘要: 针对不规则形状肉 X 射线系统成像受肉厚度影响产生灰度偏差的问题, 提出一种激光三角法测量肉的厚度以补偿 X 射线图像灰度偏差的方法, 建立了激光测量肉厚度模型及一种基于对称式结构的激光双三角法肉厚度测量系统。通过标定将左右 CCD 相机采集的两幅激光图像统一到同一个坐标下, 采用基于灰度的图像拼合法将两幅肉激光图像拼合为一个完整的肉激光图像。三维扫描试验表明, 肉图像外部形状基本对应, 灰度变化相似, 肉图像厚度变化与肉厚度轮廓接近。

关键词: 肉 异物检测 X 射线 厚度补偿 双三角法

中图分类号: S123 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)09-0223-07

引言

肉中的碎骨等异物会对消费者尤其是幼儿、老年人造成较大伤害^[1]。肉制品厂家严格要求肉不能混有碎骨和其他不经意混入的异物。传统的人工方法检测骨头是否去除干净, 需要耗费大量人力, 且不能够满足食品生产线对速度的要求。肉及其制品以及农产品内部的异物检测是食品安全技术研究的一个热点, X 射线成像是一种必要而常用的技术^[2-3]。由于肉的形状不规则, 在 X 射线成像过程中, 不同厚度的肉引起图像灰度差异, 而异物的图像灰度受到肉形状的影响, 仅根据灰度难以分割出肉中异物, 需要采用复杂的图像处理算法解决。

为克服由于肉厚度不均而引起的 X 射线吸收的变化, EG&G 采用紧迫的腰带压迫肉使得肉厚度均匀, 但对鸡胸脯这类中心厚和边缘薄的肉, 不能压缩到足以纠正厚薄不均, 使得骨头碎片识别非常困难。为了克服厚度的变化, Thermo Goring Kerr 公司将肉用泵压入管道, 然后压缩成一个矩形块后用 X 射线系统检测肉, 该方法对底部的肉检测有效, 但是肉的断面已被挤压, 造成相当严重的失真。Vachtsevanos 等^[4]用可见光图像与 X 射线图像信息融合技术检测鸡肉中骨头, 但鸡肉厚度不均及重叠等会造成 X 射线图像中深颜色像素的聚集, 骨头因密度较大而 X 射线吸收能力强同样表现为一群深

色像素的聚集, 这给肉中骨头的图像识别造成了较大困难。Amza 等^[5]分析了骨头图像像素特征和其他因素产生的深颜色像素图像特征的差异, 用神经网络法区分骨头与非骨头区域, 解决了由于鸡肉厚度不均引起鸡骨头误判率高的问题。Schatzki 等^[7]用 X 射线图像检测肉类中的异物, 肉类中异物的识别算法取决于肉的厚度、大小、形状和 X 射线图像的质量。温朝晖等^[7-9]采用区域生长法、主动轮廓线算法模型、小波图像融合等各种图像算法消除肉厚度信息, 存在误判、精度和实时性不高等缺陷。洪冠等^[10]提出利用激光实时采集肉厚度尺寸信息, 以补偿肉厚度不同对图像灰度产生的影响, 从而可以与含有异物图像的灰度加以比较而判别异物的存在, 提高肉异物检测的正确率。

本文以肉为研究对象, 提出基于激光双三角法的肉厚度测量方法, 以适应肉形状缺陷及异物检测的需要, 并采用非接触式三维扫描仪扫描肉三维立体模型验证激光双三角肉图像采集方法的有效性, 以及激光图像拼合后肉图像的完整性。

1 激光三角法厚度测量原理

采用直射式激光三角法采集肉激光图像厚度信息, 激光器和 CCD 相机的几何位置模型如图 1 所示, 激光器发射激光线束, CCD 相机测量肉厚度信息。

收稿日期: 2013-08-27 修回日期: 2013-12-29
* 江苏省科技支撑计划资助项目 (BE2011396) 和高等学校博士学科点专项科研基金资助项目 (20103204110006)
作者简介: 洪冠, 博士生, 南京铁道职业技术学院讲师, 主要从事信号检测技术研究, E-mail: job_hong@126.com
通讯作者: 赵茂程, 教授, 博士生导师, 主要从事机器视觉与图像处理研究, E-mail: mczhao@njfu.edu.cn

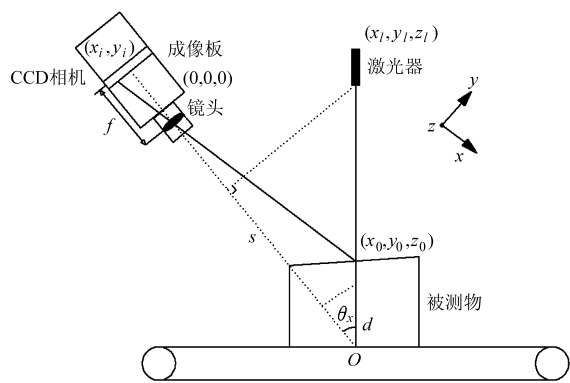


图 1 肉厚度激光测量原理图

Fig.1 Principle of laser measurement of the thickness of meat

设 CCD 相机的镜头中心处坐标为 $(0,0,0)$,激光器发出的激光束在 x 和 y 方向相对于 z 轴的夹角分别是 θ_x 和 θ_y ,被测点 (x_0,y_0,z_0) 在 CCD 相机上的成像坐标为 (x_i,y_i) ,激光源的坐标为 (x_l,y_l,z_l) , s 为 O 点成像物距, f 为 O 点成像像距,由图中的几何关系可得

$$\begin{cases} x_0 = x_l - (z_0 - z_l) \tan \theta_x \\ y_0 = y_l - (z_0 - z_l) \tan \theta_y \end{cases} \tag{1}$$

由三角相似性原理可得

$$\frac{f}{z_0} = \frac{x_i}{x_0} = \frac{y_i}{y_0} \tag{2}$$

将式(1)代入式(2)可得

$$\begin{cases} x_i = \frac{f}{z_0} x_0 = \frac{f}{z_0} (x_l + z_l \tan \theta_x) - f \tan \theta_x \\ y_i = \frac{f}{z_0} y_0 = \frac{f}{z_0} (y_l + z_l \tan \theta_y) - f \tan \theta_y \end{cases} \tag{3}$$

以传送带作为参考平面,被测物的厚度计算式为

$$d = \frac{s - z_0}{\cos \theta_x} \tag{4}$$

被测点 (x_0,y_0,z_0) 在 CCD 相机上的成像位移为

$$\begin{cases} x_i = f(x_l + z_l \tan \theta_x) \left(\frac{1}{z_0} - \frac{1}{\frac{x_l}{\tan \theta_x} + z_l} \right) = \\ f(x_l + z_l \tan \theta_x) \left(\frac{1}{z_0} - \frac{1}{s} \right) \\ y_i = f(y_l + z_l \tan \theta_y) \left(\frac{1}{z_0} - \frac{1}{\frac{y_l}{\tan \theta_y} + z_l} \right) = \\ f(y_l + z_l \tan \theta_y) \left(\frac{1}{z_0} - \frac{1}{s} \right) \end{cases} \tag{5}$$

可推导出 z_0 的计算式为

$$z_0 = \frac{s}{1 + \frac{x_i}{f(x_l + z_l \tan \theta_x)}} \tag{6}$$

本系统中激光射线在肉中的衰减大部分在 x 轴方向,所以 y_i 近似为 0,则 $y_l = 0, z_l = 0$,故式(6)可简化为

$$z_0 = \frac{s}{1 + \frac{x_i}{fx_l}} \tag{7}$$

将式(7)代入式(4)可得所测物体的厚度计算公式为

$$d = \frac{s - \frac{s}{1 + \frac{x_i}{fx_l}}}{\cos \theta_x} \tag{8}$$

2 激光双三角法测量肉厚度的方法

2.1 试验系统

本文建立了一种基于对称式结构的激光双三角法肉厚度测量试验系统,如图 2 所示,激光器投射垂直的结构光线光源到托盘平面上,左、右两个 CCD 相机(有效像素 480×800) 的镜头指向激光在托盘上的投影位置,以解决其中一个相机出现的遮挡、阴影等问题^[11-12]。托盘上的肉在激光的主动投射下与参考面形成梯度差,托盘可以在导轨上移动,实现被测肉与激光之间的相对运动,从而完成激光肉被动扫描过程。

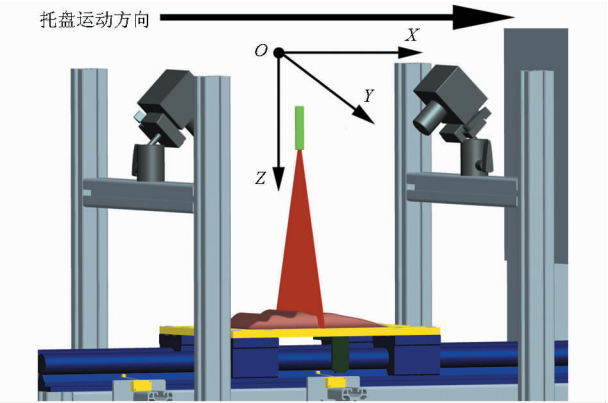


图 2 激光双三角法测量肉厚度的试验系统

Fig.2 Laser dual-triangulation meat thickness testing system

采用激光双三角法系统测量肉厚度具有双视场测量的高精度、高稳健性的特点,同时对于肉局部无法测量的区域也能够双视场中通过图像拼合加以补偿。

2.2 测量方法

2.2.1 视场的建立

如图 2 所示,视场所在坐标系为 $OXYZ$,托盘运动方向为 OX 向,线结构光源的方向是 OZ 向, OY 向垂直于 OXZ 平面。

2.2.2 激光图像的组

将激光肉曲线(即激光照射在肉表面所成曲

线)与激光平面参考曲线(即传送单元上肉所在位置的平面)的梯度差作为肉厚度信息。

如图 3a 对手进行激光图像采集,对采集 XOY 平面的手激光厚度图像进行分析(图 3b),对图像激光光束线细化处理,细化后(图 3c)取图像梯度差信息 h 作为厚度信息(图 3d),用图像灰度表示梯度差信息, XOY 平面二维图像转变为 Y 方向的一维向量即图 3d 中的竖直线,该一维向量中的灰度即为手的厚度信息,当托盘沿 X 方向水平移动,采集多幅 XOY 平面二维图像转变为图 3d 中多组含有手厚度信息的一维向量,当采集的数量足够多时,即可得到图 3e 含有手厚度信息的二维矩阵灰度图像,图像灰度值取反后得到图 3f。

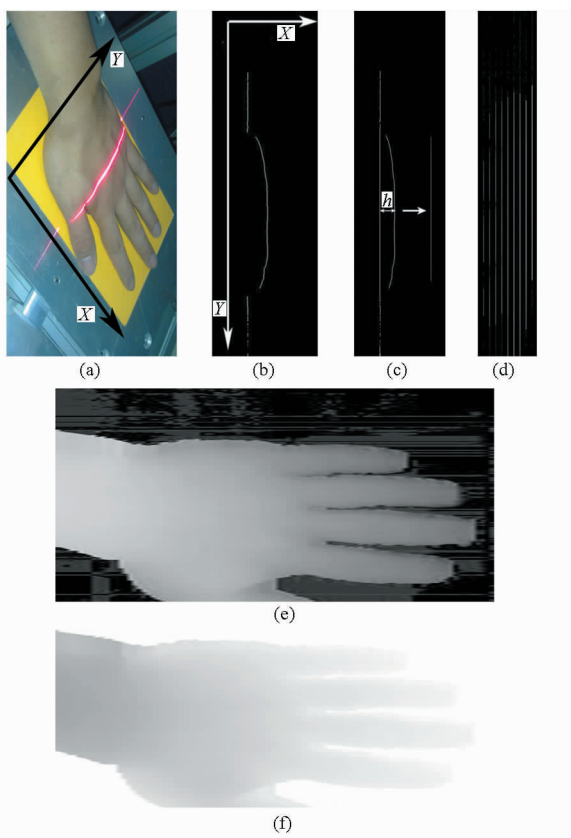


图 3 激光图像采集

Fig. 3 Laser image acquisition

- (a) 手激光扫描 (b) 激光光束细化 (c) 手图像梯度信息
(d) 多组手厚度信息 (e) 手厚度信息二维矩阵灰度图像
(f) 手灰度图像取反

图 3a 对手进行激光图像采集时,每个 CCD 相机采集的多帧激光厚度曲线按采集次序组合为一幅激光图像(图 3d);托盘自左向右运动过程中,CCD 相机是被动测量扫描; ZOY 平面相对肉表面沿 X 轴方向进行扫描运动形成 M 幅 ZOY 平面,CCD 相机连续采集 M 个 ZOY 平面的激光图像,多幅 ZOY 平面组合拼接完成肉图像构成肉立体轮廓图;激光图像三维轮廓的高度信息即厚度用灰度

来表示,图像三维降维为二维含有厚度信息的灰度图像。

ZOY 平面上 Z 方向梯度差形成肉厚度曲线,以灰度信息形式存放在 Y 方向的一维 N 元向量中, X 轴方向共采集 M 次 ZOY 平面,灰度信息和 ZOY 平面组合成 $M \times N$ 矩阵的激光二维肉图像(图 3e),矩阵的值即灰度表示肉厚度信息。

2.2.3 图像坐标的统一

由于激光双三角法测量系统中采用双相机分别从左右不同视场采集肉激光图像厚度信息,故需要对两幅不同视角有遮挡部分的肉激光图像进行拼合,而两相机由于测试平台 CCD 设计精度及测试过程中的系统振动,不能保证相机在空间中相对激光器完全对称,所以 CCD 应建立双相机之间的二维图像映射关系。

如图 4, $O_w X_w Y_w Z_w$ 为世界坐标系, $O_l X_l Y_l Z_l$ 为左 CCD 相机坐标系, $O_r X_r Y_r Z_r$ 为右 CCD 相机坐标系, P_l 和 P_r 分别为空间点 P 在左 CCD 相机和右 CCD 相机平面上的图像投影点^[13-14]。

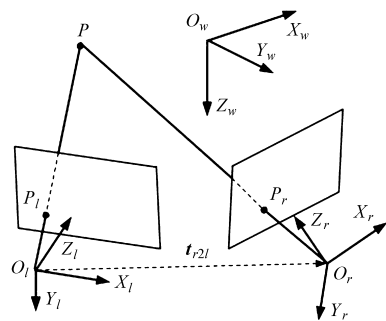


图 4 双相机成像示意图

Fig. 4 Dual camera imaging schematic

用 R_{r2l} 表示从右 CCD 相机坐标系到左 CCD 相机坐标系的旋转矩阵, t_{r2l} 表示从右 CCD 相机坐标系到左 CCD 相机坐标系的平移向量,则有

$$X_l = R_{r2l} X_r + t_{r2l} \quad (9)$$

如果已知从世界坐标系到左 CCD 相机坐标系和右 CCD 相机坐标系的旋转矩阵 R_l 和 R_r 以及平移向量 t_l 和 t_r ,则

$$R_{r2l} = R_l R_r^{-1} \quad (10)$$

$$t_{r2l} = t_l - t_r R_l R_r^{-1} \quad (11)$$

相机所获取的图像与理想模型成像之间存在着误差,通常称之为图像的非线性畸变。本文中相机采集激光图像为一条水平激光束,畸变只取决于径向,单激光三角法中二维激光图像采集图像尺寸偏差较小,可假定相机图像采集线性,图 5 中左右相机参数 $k_1^l, k_2^l, k_1^r, k_2^r$ 和 $p_1^l, p_2^l, p_1^r, p_2^r$ 都为 0,故只需确定左右相机内参矩阵 A_l, A_r 及 R_{r2l}, t_{r2l} 参数,即可将右视场图像转变为左相机视场图像。

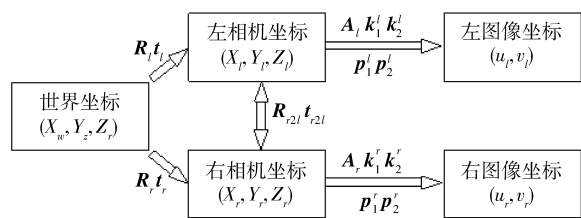


图5 双CCD相机成像模型

Fig.5 Dual CCD camera imaging model

2.2.4 激光图像的拼合

采用激光双三角法采集完整的肉激光图像,将两相机采集的激光图像统一到一个坐标系下。由于左右相机的视场所限,左图像的左边界区域在右图像中找不到对应点,右图像的右边界区域在左图像中也找不到对应点,本文提出基于灰度信息的图像拼合。

设左相机激光图像 I_1 为主参考图像,右相机激光图像 I_2 为次参考图像,拼合后的图像为目标图像 I_3 , I_1 、 I_2 、 I_3 为 $M \times N$ 大小的图像。

设定 I_1 上任一点灰度值为 $\mu_1(i,j)$,设定 I_2 上任一点灰度值为 $\mu_2(i,j)$,对两幅图像同时从头开始遍历, $i=1,2,\cdots,M,j=1,2,\cdots,N$ 。若图像中任一点 $\mu_1(i,j) \geq \mu_2(i,j)$,则该点左相机中肉灰度大于右相机中的肉灰度,记下此时的位置 i,j ,设此类点的集合为 D_p ;若 $\mu_1(i,j) < \mu_2(i,j)$,则该点左相机中肉灰度小于右相机中肉灰度,记下此时的位置 i,j ,设此类点的集合为 D_q 。

本文对将目标图像用两参考图像中图像进行优化拼合,最终得到优化的拼合目标图像表示为

$$I_3 = \begin{cases} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f_1(i,j) & (i,j \in D_p) \\ \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f_2(i,j) & (i,j \in D_q) \end{cases} \quad (12)$$

3 试验结果及分析

3.1 标定参数的确定

设计具有易于检测、中心定位精度高的圆点作为标定板,标定板上布 21×13 的圆点阵列,其圆点阵列间距为 9 mm,其中任意 2 个相邻圆点的间距相同,然后通过左右相机对其清晰成像。

激光测量系统中的左右相机同时对标定板进行拍摄,得到至少 3 对的标定用图像,其中左右 2 个相机同一次拍摄得到的 2 幅图像称为一个图像对(图6),对图片进行二值化处理,采用重心法^[15]计算出平面图像圆心坐标,根据几何多视图中的绝对二次曲线理论求出相机内外相关参数^[16]。标定得到的左右相机的内外参数为

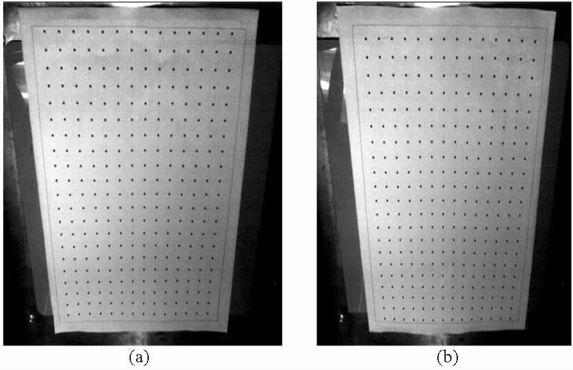


图6 标定板图像对

Fig.6 Calibration board image

(a) 左相机标定板 (b) 右相机标定板

$$A_l = \begin{bmatrix} -0.7192 & 0.7050 & -0.0166 \\ -0.0003 & -0.0002 & -0.0001 \\ 0.2015 & 0.2006 & -0.9587 \end{bmatrix}$$
$$A_r = \begin{bmatrix} -0.5937 & 0.8158 & 0.0140 \\ -0.0003 & -0.0002 & -0.0001 \\ 0.2194 & 0.1969 & -0.9556 \end{bmatrix}$$

左右相机相互位置关系为

$$R_{r2l} = \begin{bmatrix} -0.1788 & -0.8689 & -0.2152 \\ 0.8896 & -0.4337 & 0.4098 \\ -0.5028 & -0.1102 & 0.8652 \end{bmatrix}$$
$$t_{r2l} = [1.8638 \times 10^5 \quad 2.394 \times 10^6]$$

根据已知的 A_l 、 A_r 、 R_{r2l} 、 t_{r2l} 参数,左右相机的激光视场图像可以相互映射变换。

3.2 肉激光图像采集

对外形不规则的肉进行激光图像采集。由图7可知,由于形状不规则肉的影响,肉局部位置存在遮挡,左相机采集的肉图像外部右边缘和上边缘清晰明显,右相机采集的肉图像上边缘和右边缘不齐锯齿状明显,而左边缘和下边缘清晰明显,两图像边缘存在互补。



图7 激光肉图像

Fig.7 Laser image of meat

(a) 左相机图像 (b) 右相机图像

3.3 基于灰度的激光肉图像拼合

为了验证拼合方法对激光肉图像拼合的效果,对图7所示左右相机采集的肉激光图像进行拼合。图8所示,基于灰度图像拼合的肉图像边缘平滑,肉激光图像边缘没有缺失,与X射线肉图像相比,肉

外部形状基本对应,因肉厚度变化产生的激光灰度变换与 X 射线下肉灰度变化接近,可补偿受厚度不规则影响的 X 射线肉图像灰度偏差。



图8 拼合后的激光图像

Fig. 8 Laser flatten image

(a) X 射线肉图像 (b) 拼合后肉激光图像

3.4 基于三维扫描肉图像采集验证

为进一步验证激光双三角法采集激光图像拼合肉图像的有效性,本文用 Minolta VIVID9i 非接触式三维扫描仪扫描肉三维立体模型^[17],扫描前将肉表面均匀布满面粉(图 9a),以克服肉表面产生镜面反射干扰^[18];采集时在同一水平面扫描肉 4 个不同视场肉图像并且拼合为肉立体图像,所得肉立体图像中包含了 $2 \times 10^6 \sim 3 \times 10^6$ 个顶点,最后用 Pro/E 软件对肉立体图中局部缺失进行修补^[19]。

三维扫描获取的肉立体图像如图 9b 所示,从肉模型俯视图中可见,肉的轮廓与图 9c 肉激光图像轮廓、图 9d 肉 X 射线图像轮廓基本吻合。

由于肉图像的灰度信息代表肉的厚度,对

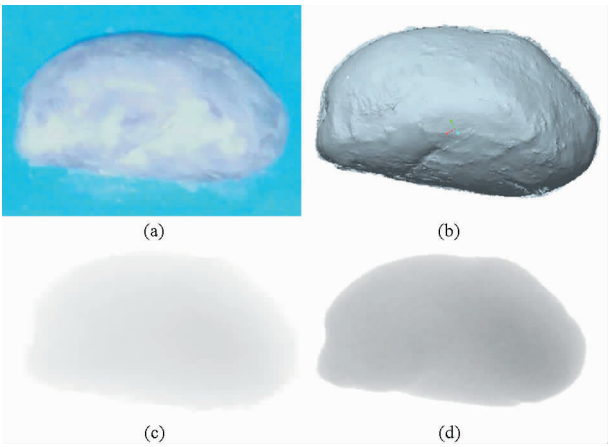


图9 肉轮廓图像

Fig. 9 Meat profile image

(a) 肉原图像 (b) 肉立体图俯视

(c) 肉激光图像 (d) 肉 X 射线图像

图 9c、图 9d 图像灰度取反,求取列向量灰度最大值并得到灰度分布图(图 10b、图 10c)即为肉厚度分布图。图 10b 与图 10c 厚度在薄肉边缘处变化梯度基本相同;对于肉厚处,两图肉厚度变换的趋势相同但变化的幅度有差别,这是由于肉激光图像与肉 X 射线图像成像机理有一定差异,造成了肉较厚的部分灰度变化幅度差异。图 10 中,肉激光图像与 X 射线图像厚度变化与肉轮廓比较接近,激光双三角法采集肉图像在轮廓及厚度信息比较准确。

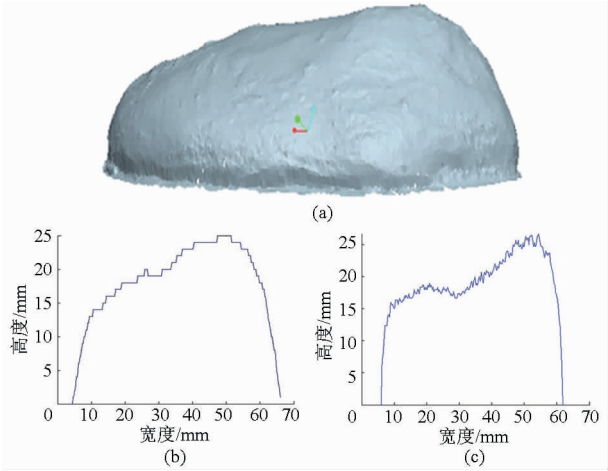


图10 肉厚度轮廓分布

Fig. 10 Thickness of meat image

(a) 肉厚度轮廓 (b) 肉激光图像厚度分布图

(c) 肉 X 射线图像厚度分布图

4 结束语

本文以肉为研究对象,采用激光对肉的厚度进行测量,对基于激光双三角法的厚度测量方法进行研究。以激光肉曲线与激光平面参考曲线的梯度差作为肉厚度信息,将多帧激光肉厚度曲线组合为一幅激光图像,通过标定将左右 CCD 相机采集的两幅激光图像统一到同一个坐标下,采用基于灰度的图像拼合法,将肉激光图像拼合为一个完整的肉激光图像。三维扫描试验表明,肉图像外部轮廓形状基本对应,灰度变化相似,肉图像厚度变化与肉厚度轮廓接近。该方法能够测量出农产品的厚度信息,可以补偿 X 射线成像过程中图像受厚度变化产生的灰度偏差。

参 考 文 献

1 洪冠,赵茂程,居荣华,等. 基于 X 射线成像系统的屏蔽包装食品异物检测与分类[J]. 粮油加工,2008,37(6):122 – 124.
Hong Guan, Zhao Maocheng, Ju Ronghua, et al. Shielded packaged food foreign body detection and classification based on the X-ray imaging system[J]. Cereals and Oils Processing, 2008, 37(6): 122 – 124. (in Chinese)

2 王晓嘉,高隼. 激光三角法综述[J]. 仪器仪表学报,2004,25(4):601 – 604.
Wang Xiaojia, Gao Jun. Survey on the laser triangulation[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2004, 25(4): 601 – 604. (in Chinese)

3 洪冠,赵茂程. 屏蔽包装食品异物检测中的 X 射线成像检测系统的构建[J]. 河南工业大学学报:自然科学版,2008,29(2): 74-77.
Hong Guan, Zhao Maocheng. Setup of X-ray imaging system in the impurities inspection of metallically packed food[J]. Journal of Henan University of Technology: Natural Science Edition, 2008, 29(2): 74-77. (in Chinese)

4 Vachtsevanos G, Dale W, Heck B, et al. Fusion of visible and X-ray sensing modalities for the enhancement of bone detection in poultry products[J]. Proceedings of SPIE-the International Society for Optical Engineering, 2000, 4203: 102-110.

5 Amza C, Graves M, Zaharia R. Intelligent classifier for bones within chicken breast meat X-ray images[J]. UPB Scientific Bulletin, Series A: Applied Mathematics and Physics, 2000, 62(2): 83-96.

6 Schatzki T F, Young R, Haff R P, et al. Defect detection in apples by means of X-ray imaging[J]. Transactions of the ASAE, 1997, 40(5): 1407-1415.

7 温朝晖. 食品异物 X-ray 无损检测系统研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
Wen Zhaohui. Research about foreign bodies non-destructive detection system X-ray imaging[D]. Beijing: China Agricultural University, 2005. (in Chinese)

8 张道武. 基于 X-ray 的食品异物无损检测技术研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2007.
Zhang Daowu. Research about non-destructive detection technology of food impurity based on X-ray[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2007. (in Chinese)

9 Wang X, Zhao M. An implementation of GVF snake algorithm to food inspection against foreign objects in metallically packaged food product[C]//2008 ASABE Annual Meeting, ASABE Paper 083537, 2008.

10 洪冠,赵茂程,汪希伟,等. 肉中异物 X 射线成像识别中肉厚度激光补偿系统研究[J]. 农业工程学报,2012,28(10): 274-280.
Hong Guan, Zhao Maocheng, Wang Xiwei, et al. Development of experimental system of laser compensation for meat thickness in foreign matter[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(10): 274-280. (in Chinese)

11 李晶,吴章江. 基于图像处理的激光双三角法测量的三维曲面[J]. 激光与红外,2001,31(2): 87-89.
Li Jing, Wu Zhangjiang. Laser double triangulation method measurement for 3-D surface based on image processing[J]. Laser & Infrared, 2001, 31(2): 87-89. (in Chinese)

12 陶立,孙长库,何丽. 基于结构光扫描的彩色三维信息测量技术[J]. 光电子·激光,2006,17(1): 111-114.
Tao Li, Sun Changku, He Li. A color 3-D acquisition method based on structured-light scanning[J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2006, 17(1): 111-114. (in Chinese)

13 Tsai R Y. A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses[J]. IEEE Journal of Robotics and Automation, 1987, 3(4): 323-344.

14 张辉,张丽艳. 面向三维点云测量的双目立体匹配算法[J]. 南京航空航天大学学报,2009,41(5): 588-594.
Zhang Hui, Zhang Liyan. Binocular stereo matching algorithm for 3-D point cloud acquisition[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2009, 41(5): 588-594. (in Chinese)

15 张广军. 视觉测量[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 110-112.

16 Zhang Zhengyou. A flexible new technique for camera calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(11): 1330-1334.

17 杨琴,齐越,沈旭昆. 一种快速的三维扫描数据自动配准方法[J]. 软件学报,2010, 21(6): 1438-1450.
Yang Shen, Qi Yue, Shen Xukun. Rapid and automatic method for 3D scanned data registration[J]. Journal of Software, 2010, 21(6): 1438-1450. (in Chinese)

18 Posudin Y I. Lasers in agriculture[M]. Enfield, NH: Science Publishers, Inc., 1998.

19 赵宇明,张国忠,于哲峰. 曲线曲面拟合在逆向造型设计中的应用技术研究[J]. 机械与电子,2005(6): 11-13.
Zhao Yuming, Zhang Guozhong, Yu Zhefeng. The application study of curve and surface fitting in reverse molding design[J]. Machinery & Electronics, 2005(6): 11-13. (in Chinese)

Research on Meat Thickness Measurement Based on Laser Double-triangulation Method

Hong Guan^{1,2} Zhao Maocheng¹ Wang Xiwei¹ Shang Qingqing¹ Ju Ronghua³ Wu Zhiwei¹
(1. College of Electronic and Mechanical Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China
2. Nanjing Institute of Railway Technology, Nanjing 210015, China
3. Nanjing Food and Packaging Machinery Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: Food foreign bodies harm the human health and hold back the food industry development. To detect food by computer vision and image processing technology, the examination has the advantages of

non-destruction, high-speed, accuracy and reliable etc. The meat thickness on-line real-time detection system was first designed and constructed, which collected X-ray image of meat and laser image of meat, including filtering, enhancement and other image preprocessing. The X-ray image system of irregular meat was affected by the gray deviations of uneven thickness of meat. A meat thickness measurement method by laser triangular was proposed to eliminate the gray deviations of the X-ray image of the uneven thickness meat. This study established the mathematical model for the thickness of irregular meat, and a thickness measurement system by symmetrical structure of the laser double-triangulation method. Through calibration method two laser image collected by CCD camera were unified by means of the same coordinates. The meat images were synthesized using the image integration methods based on both gray scale method. The three-dimensional scanning experimental result show that the external shape of meat with corresponding profile, gray variation, and the variational thickness of meat image are close to meat thickness.

Key words: Meat Foreign substance measurement X-ray Thickness compensation Double-triangulation method