

基于机器视觉的尺寸检测智能工位设计

沈正福, 汪惠芬, 袁堂晓

(南京理工大学 机械工程学院, 南京 210094)

摘要: 近年来, 随着食品行业对于食品质量要求的提升, 食品加工行业逐步开始进行智能化转型, 开始应用新型技术来解决生产过程中的产品检测问题; 为了检测产线上不规则排布的冰棍的长度, 设计了一种新型智能检测工位, 并开发了配套算法; 在算法开发中, 融合了边缘检测及最小外廓拟合算法实现了连续非接触式的产品尺寸测量技术, 并在 7 组 238 份样例的验证中, 得到了低于 1.1% 的标准相对误差, 达到了理想的检测目标。

关键词: 智能工位; 尺寸检测; 边缘检测; 最小外廓拟合

Design of Intelligent Workstation for Dimension Measurement Based on Machine Vision

SHEN Zhengfu, WANG Huifen, YUAN Tangxiao

(Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: In recent years, as the requirements for the food quality has increased, the food processing industry has gradually begun to transform into intelligence and began to apply new technologies to solve testing problems in the production process. In order to detect the length of the popsicles which were irregularly arranged on the production line, a new type of intelligent detection station was designed and a matching algorithm was developed. The edge detection and minimum-contour-fitting algorithm were combined to realize continuous non-contact technology for size measurement. In the verification of 238 samples in 7 groups, a standard relative error of less than 1.1% is obtained, reached the ideal detection target.

Keywords: intelligent workstation; dimension measurement; edge detection; minimum profile fitting

0 引言

随着国民经济的稳步提升, 国人对生活品质的要求日益增高, 尤其在食品领域, 安全、环保等生产要素成为食品加工行业的统一门槛和行业基准。随着“食品生产通用卫生规范”等文件的出台和不断完善, 针对食品加工企业, 尤其是中小企业和民营作坊的监管和规范力度也逐渐加大。为了提升企业竞争力, 形成良好的品牌效应, 众多食品加工企业开始走向转型之路。

而在生产过程中, 除了严格把控原材料的品质以外, 实现较高水准的智能化检测, 是其在科技时代获得更高竞争力的关键所在。对于食品而言, 主要体现在劣质产品的检出和即时剔除。其核验指标又往往集中在尺寸、颜色、纹理、包装等视觉属性上, 因此, 研究良好的智能化视觉检出机制成为食品行业转型的关键^[1]。

对于食品的尺寸测量, 目前主要有两种方式: 1) 直接目测; 2) 采用机械仪器装置与产品接触的检测方法, 例如使用分光光度计、色度仪等对物体表面形态进行扫描。两种方法分别在精度和生产卫生规范上产生掣肘, 而利用机

器视觉刚好可以解决上述方法的不足, 且获得良好的系统稳定性和可靠性。

为了解决在弱光环境下, 产线上不规则排布的某食品的尺寸检测问题, 设计了一套基于机器视觉的智能检测工位, 利用边缘检测及最小外廓等算法, 实现了一种非接触式的尺寸测量技术, 并进行了效果测试。

1 智能工位的组成与布局

工位系统需要完成产品上料到出料期间的尺寸检测及相应的剔除、放行行为。其功能流程如图 1 所示。

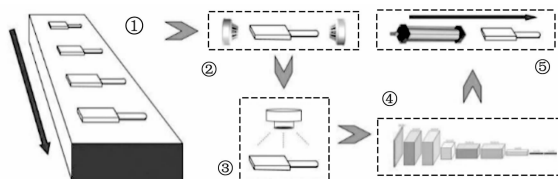


图 1 工位系统的功能流程

- ①待测产品通过传送装置进入工位区域;
- ②产品阻断对射传感器的光源信号, 触发高低电平切

收稿日期: 2020-11-30; 修回日期: 2021-01-06。

基金项目: 江苏省研究生科研与实践创新计划项目(KYCX20_0259)。

作者简介: 沈正福(1995-), 男, 江苏宿迁人, 硕士, 主要从事网络协同制造方向的研究。

汪惠芬(1965-), 女, 江苏苏州人, 工学博士, 教授, 主要从事先进制造系统理论及技术、智能制造技术等方向的研究。

引用格式: 沈正福, 汪惠芬, 袁堂晓. 基于机器视觉的尺寸检测智能工位设计[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(7): 91-94, 105.

换，向上位机发送控制信号；

③上位机接收控制信号，命令摄像头进行拍摄，获取待测物体的图像信息，并发送至工控机；

④工控机接收待测物体的图像信息，并将其作为输入参数发送到内嵌的尺寸识别模块，对图像进行特征提取，并根据提取的尺寸信息与标准公差带进行比对，判定待测物体的合格与否，并输出判别信号到执行机构；

⑤执行机构根据收到的判别信号，进行二分为行，若信号指向合格判定，则进行放行行为；若信号指向不合格判定，则进行剔除行为。

由上述流程可知，一个完整的机器视觉系统需要具备可靠的图像采集功能以及相应的图像处理能力，为了保证功能的顺利执行通常会配置完善的光源系统或者光照平衡设施。因此，该智能工位主要的功能模块包括光照模块、图像采集模块、图像处理模块以及相应的运动控制模块，如图 2 所示。^[2-4]

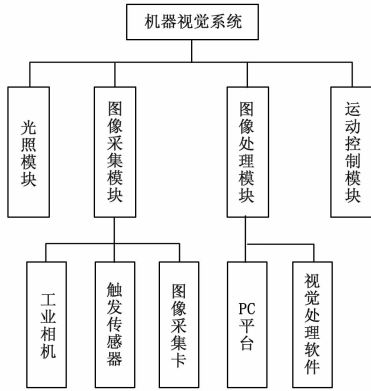


图 2 机器视觉系统模块组成

模块单元所涉及到的下层设施包括：基本的图像采集单元（通常以 CMOS 和 CCD 工业相机以及配套的图像采集卡呈现）；配置相应图像处理程序的工业计算机（PC 平台）；接收处理信号、匹配目标行为的执行机构。为了维持系统稳态和限定良好的采集边界，也经常会在视觉系统中嵌入合适的触发传感器。

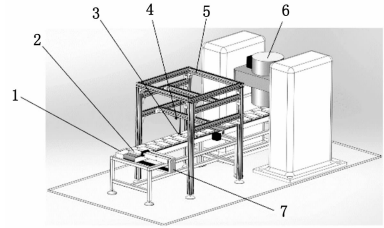
由于产品主体尺寸为 140 mm，且要求生产过程为连续、稳定的状态，因此设计传送装置为 200 mm 带宽的带式传输，运行速率由电机控制，并通过解码器对速度进行实时监测。

为了固定摄像头、补光器及传感器等外界设备，需要设计工位支架。支架整体由型材和型材连接件组成，并搭设可动横梁以实现相机距离的调试和自适应功能。

此外，上料装置为快速冷凝机，通过将原料快速凝固、挤出、插枝及切块，来获得初始的冰棍产品，送入尺寸智能检测工位进行产品检测。工位的总体结构模型设计如图 3 所示。^[5-6]

2 基于机器视觉的尺寸检测算法

所设计的智能工位要求的功能指向为食品主体



1. 传送带；2. 产品；3. 对射传感器；4. 摄像头；5. 支架；6. 上料机；7. 舵机。

图 3 智能工位的结构

尺寸的测量，即要求对输入的产品图像进行特征提取，获得产品的长度尺寸，返回测量值，并根据预设的公差范围判定当前产品的合格状态。

算法流程包括针对食品主体的边缘检测，继而根据边缘信息进行最小外廓拟合，然后以拟合外廓的像素尺寸描述主体像素尺寸，最后利用相机标定时获取的转化系数，将像素尺寸转化为三维世界坐标系下的物理尺寸，并输出检测和判别结果。算法流程如图 4 所示。

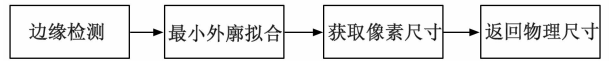


图 4 尺寸检测算法流程

2.1 图像预处理

初始的采集图片，由于噪声过多、灰度分布不均衡等因素的存在，会导致图片的主要特征被覆盖，物体边缘等信息难以提取。因此，在特征提取之前，我们需要对采集图像进行一定的预处理以增加目标特征的显式权重。预处理流程包括初始图像的灰度化、图像的几何变换以及相应的增强方式。

本文采取的预处理方法为高斯滤波。首先将原始的 RGB 图像转化成灰度图，然后利用高斯滤波进行降噪。

$$Gray = 0.114B + 0.587G + 0.299R \quad (1)$$

为了降低人眼带来的视觉偏差，使用加权平均算法来进行图像灰度化，即对图像 RGB3 种色度按不同权重进行一维灰度的映射，转化公式如式 (1)。

图像灰度化后进行降噪处理以减少边缘造成所引入的测量误差。高斯滤波是一种比较常用的噪声过滤技术，对于服从正态分布的噪声（如图 5 所示）具有很好的抑制效果。

在实际滤波中，滤波器将当前像素作为核中心，通过卷积核对邻域像素作加权平均，并将结果作为当前像素的新值。

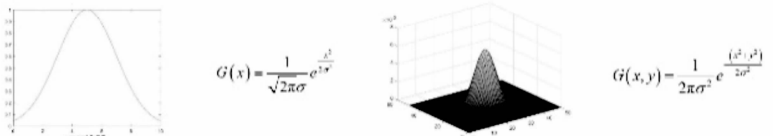


图 5 一维与二维高斯分布曲线

2.2 边缘检测

为了提取食品主体的尺寸信息, 首先需要在图片中界定出食品主体的位置, 使其与背景区分。最有效的方法就是对图像进行边缘检测, 提取出食品主体的轮廓信息。由于食品主体占据的区域是一个连通域, 可以通过轮廓直接反映主体的尺寸、周长等结构属性。

目前常用的边缘检测方法大致可以划分为两类: 1) 基于查找的边缘检测方法; 2) 基于零穿越的边缘检测方法。分别通过图像中的一阶导数极值及二阶导数的零穿越值来实现边界的定位。

而在实际计算过程中, 通常会用算子来替代求取一阶导数的极值或二阶导数的零穿越值, 比如在 Prewitt 算子中, 就是利用 $f'(x) = f(x+1) - f(x-1)$ 来近似计算一阶差分, 提取系数得到模板 $[-1, 0, 1]$ 。对应的二维情况为 $[[[-1, 0, 1], [-1, 0, 1], [-1, 0, 1]]]$, 这就是 Prewitt 算子。表 1 对几种常用的边缘检测算子进行了比对。

表 1 常用边缘检测算子计算原理及特点

算子名称	计算原理	特点
Sobel	利用一阶差分求取边缘	产生的边缘有强弱, 抗噪性好, 计算量小
Laplace	利用二阶差分求取边缘	对边缘敏感, 但抗噪性差
Canny	梯度赋值、非极大值抑制	产生的边缘很细, 准确度高, 计算量大。

由于目标特征为物体尺寸, 而尺寸信息的精度大小取决于食品主体在图片中占据的像素个数, 因此检测到的边缘越精确, 占据的像素值越少, 对应提取出的边缘特征就越精确。鉴于 Canny 算子在精确性上的优势, 选择它作为边缘检测算子。

式 (2)、(3) 分别在水平与竖直方向上进行差分运算, 得出梯度幅值分量, 并通过式 (3)、(4) 计算总幅值大小和偏角。

$$P[i, j] = (f[i+1, j] - f[i, j] + f[i+1, j+1] - f[i, j+1])/2 \quad (2)$$

$$Q[i, j] = (f[i, j] - f[i, j+1] + f[i+1, j] - f[i+1, j+1])/2 \quad (3)$$

$$M[i, j] = \sqrt{P[i, j]^2 + Q[i, j]^2} \quad (4)$$

$$\theta[i, j] = \arctan \frac{Q[i, j]}{P[i, j]} \quad (5)$$

其中: P 代表 X 方向的梯度幅值; Q 代表 Y 方向的梯度幅值; M 是总幅值; $\arctan \frac{Q[i, j]}{P[i, j]}$ 是方向, 即角度, 如图 6 (a) 所示。

最后进行非极大值抑制, 对于图像来说, 幅值较大的元素点并不一定就是边缘点, 需要通过比较该点周围元素的幅值来确定该点是否是局部最大值。非极大值抑制就是寻找像素点的局部最大值, 并对非极大值所对应的点进行抑制, 即灰度重置。

如图 6 (b) 所示, 要进行非极大值抑制, 就首先要确

定像素点 O 的灰度值在其 8 值邻域内是否为最大。假定图中线条为 O 点的梯度方向, 则其局部最大值必定位于线条之上, 因此, 梯度方向上的两个交点值 Node1 和 Node2 也可能成为局部最大值。所以, 比较 O 点灰度与两个交点灰度值的大小, 如果 O 点处于低值状态, 则 O 点不是局部极值, 可以进行排除, 达成抑制。^[7-9]

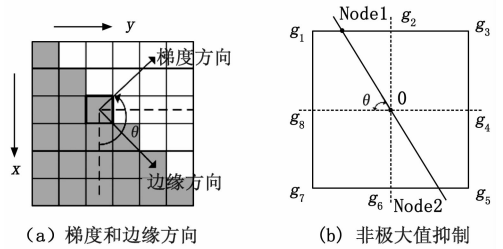


图 6 Canny 边缘检测原理图

图 7 为 Canny 算子和其他几种算子的边缘检测效果对比, 从图中可以看出, Canny 算子所得边缘具有更好的精确性, 更适合食品主体的提取工作。

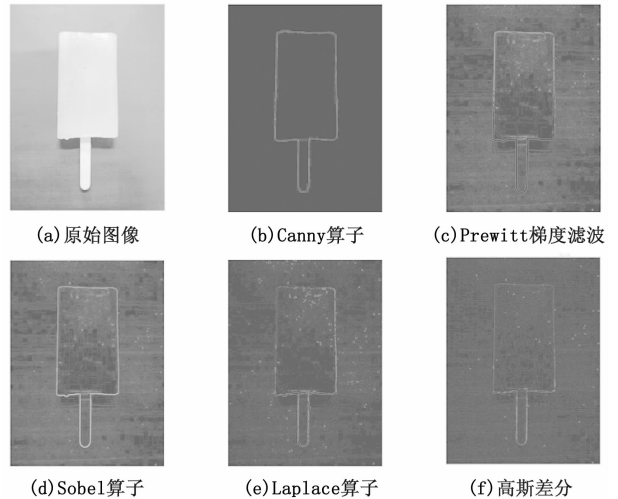


图 7 算子边缘检测效果对比

2.3 最小外廓拟合

经过边缘检测所提取出的主体边缘是一条闭合的不规则线段, 它并不能直接反映出主体的尺寸特征, 为了能够得到近似的主体尺寸, 我们将已有的边缘信息作为输入, 用矩形框体框定主体边缘, 并不断调整框体的大小和位置, 使最终形成的矩形为最小拟合矩形。此时, 可以用矩形框的尺寸来近似指代所要测量的主体尺寸。

由于轮廓是由一系列点组成的, 若想获得轮廓的最小外接矩形, 首先需要获得轮廓的近似多边形。即在不影响轮廓支撑形态的情况下对大部分内缩的轮廓点进行抽释, 抽释算法采用道格拉斯-普克 (Douglas-Peucker) 算法。

首先, 将曲线的首末点虚连成一条直线, 计算曲线上所有点到直线的距离, 并找出其中的最大距离值 d_{max} , 用 d_{max} 与事先给定的阈值 D 相比; 若 $d_{max} < D$, 则将这条曲线上的中间点全部舍去, 以该直线段作为曲线的近似; 反之,

若 $d_{max} \geq D$ ，则保留 d_{max} 对应的坐标点，并以该点为新的分界点，把曲线分为两部分，对这两部分重复使用上述方法，直到所有 d_{max} 均小于 D ，即完成对曲线的抽稀，抽稀过程如图 8 所示。

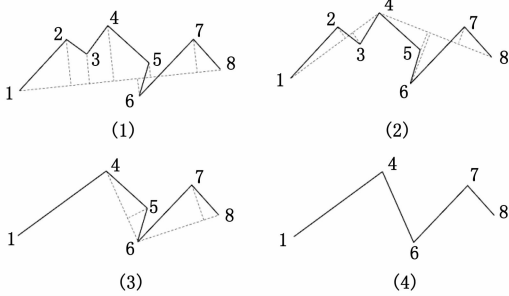


图 8 Douglas-Peucker 算法

当轮廓的边缘点数量折降到一定数值时，图像轮廓可以塌陷成一个近似的多边形，而由于多边形的最小外接矩形的一条边必然与多边形的其中一条边共线，只需要枚举多边形的边，作外接矩形，比较外接矩形的面积，选最小的那个就可获得最小的拟合外廓。拟合过程如图 9 所示。

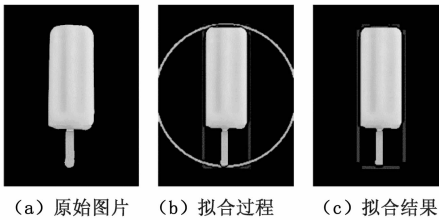


图 9 最小外廓拟合

2.4 像素转换

经过最小外廓拟合得到的尺寸数据为像素坐标系下的像素尺寸，并不是三维世界坐标系下的真实物理尺寸。由于本文所要测量的只是食品主体尺寸，即食品的最大长度，因此只要在布置相机时，严格保证相机视角与采集平面的平行一致性，就可以将三维映射近似转化一位的映射关系。即：

$$L = \mu * M \tag{6}$$

其中： M 为像素尺寸； L 为世界坐标系下的物理尺寸； μ 为转化系数，在测量开始前通过对标准模板在当前相对位置下进行先验测量得出。

2.5 现场快速标定

2.4 中的转化系数 μ 由现场标定给出，不同场合与不同安装条件下的转化系数会出现较大的差异。因此，在设计工时，配置了位置可调的摄像头安装支架。发生场景变更时，只需要记录变更后的相机位置，并测量已知尺寸的标准模板在此位置下的测量值，反向推导出转化系数即可。操作简单、有效、易于入手。^[10]

3 效果测试

为了测试系统的检测效果，需要搭建一定数量的检测

样本。为了完成样本采集工作，搭建了如图 10 所示的采集装置，装置包括摄像头、支架、托盘等组成部分。通过调节支架角度和高度使摄像头呈垂直安装，通过普通白炽灯泡进行照明；待采集产品以任意角度放置在纯色背景的托盘之上。采集时，现将产品置于托盘之上，然后开启照明装置，控制上位机程序进行帧像采集。本文通过搭建测试样本集，利用 34 个模型样本形成 7 组共 238 份测试数据（每组对应不同的转化系数），通过比对误差区间得出了智能检测工位的测量效果。部分样本的检测效果如图 10 所示。

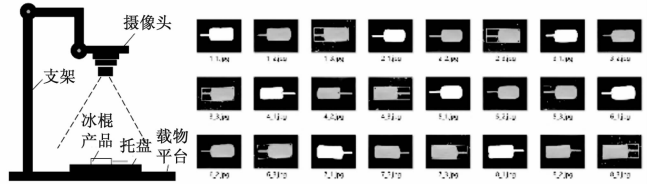


图 10 部分样本的检测效果示意图

部分尺寸检测数据如表 2 所示。由于采集位置和采集时间的差异，以及算法的系统误差，各测量样本显示出的误差性略有不同，但测量长度与实际长度的偏离值始终维持在 2 mm 以内。

表 2 尺寸检测数据 mm

编号	转化系数	测量长度	实际长度	相对误差
1	0.3785	123.77	125.00	0.00984
2	0.3785	132.48	131.50	0.007452
...
33	0.3785	137.02	135.20	0.013462
34	0.3785	139.67	140.00	0.002357
...
237	0.3653	124.53	125.80	0.010095
238	0.3653	131.72	132.00	0.002121

由于数据是多组测量值和真实值的比对，因此采用标准误差来衡量系统的测量准确度。公式为：

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \tag{7}$$

其中： x_i ， \bar{x} 分别表示测量值和真实值， v_i 为每一组对应的测量误差。 σ 为最终的标准误差。代入数据，计算得系统的标准误差为 1.435 mm，标准相对误差为 0.010 8。相较于市场上的大部分激光测距传感器（如博世的 GLM 30 激光测距仪、宏诚的 HT-Q7 测距仪等）的 2 mm 精度提升了 25%，且解决了传统仪器测量时对偏移角度等要素的严格限制。

4 结束语

智能化生产是食品行业转型的必然趋势和必然结果。通过设计一种智能检测工位，将机器视觉利用到食品尺寸的测量与劣质甄别上，使尺寸测量的相对误差降低到 1.1%。

(下转第 105 页)