

# 基于三维图像校对的食物机械加工对接平台设计

## Design of processing docking platform of food machine based on three dimensional image calibration

付雯 李响

FU Wen LI Xiang

(重庆电子工程职业学院软件学院, 重庆 401331)

(Chongqing College of Electronic Engineering, Chongqing 401331, China)

**摘要:** 食品机械加工中会出现对接过程, 对接过程的精确性直接影响后期的工艺能否顺利进行。针对当前的对接过程仅仅依靠信号传感器完成, 精度不高, 提出基于三维图像校对的食物机械加工对接平台设计方法, 分析三维图像对机械对接过程的校对原理, 依据食品机械中三维图像局部亮度、对比度、结构信息, 在大量可选择的对接图像中采集最优对接区域的特征点, 对接区域进行三维图像还原。获取几何阵关于  $z$  轴的子矩上的任意阶矩, 优化可对接信息, 通过投影矩实现基于食品机械加工过程中的高精度对接。仿真试验结果表明, 所提方法具有很高的效率及对接精度。

**关键词:** 三维图像; 校对; 对接平台

**Abstract:** Docking process occurs in food machinery processing, the accuracy of the docking process can directly affect the later process successfully. In order to solve the problem of low docking accuracy which depends only on the signal sensors, the design method of processing docking platform based on three dimensional image is afforded, by analyzing the influence of three-dimensional image mechanical calibration principle of docking process, and acquiring the feature points in the optimal docking area of a large number of the three dimensional docking images which can be chosen based on local brightness, ratio of contrast, information of structure, the three dimensional images can be restored, and then the child moment of the geometry array of the  $z$  axis can be gotten, with the optimal docking information, the high accuracy docking can be realized by used of the the projection matrix. The simulation results show that the proposed method is of high efficiency and with high docking accuracy.

**Keywords:** three dimensional image; calibration; docking platform

随着食品机械加工技术的不断发展, 食品机械加工中, 越来越多的出现了设备对接的工艺过程, 该项技术受到日益广泛的关注<sup>[1,2]</sup>。通过食品机械加工对接平台可将食品加工

机械的不同区域进行准确对接, 达到对接准确度的要求<sup>[3-5]</sup>。因此, 食品机械加工对接平台的设计已经成为相关学者研究的重点课题<sup>[6,7]</sup>。

食品机械加工对接过程中, 外界的环境因素过于复杂, 导致当前采用信号传感设备对食品机械加工对接平台的对接过程进行监控, 会受到较大干扰, 精度较低, 无法达到机械对接的精度控制要求<sup>[8-10]</sup>。

针对传统方法的弊端, 本设计提出一种基于三维图像校对的食物机械加工对接平台设计方法, 通过分析三维图像校对原理, 依据三维图像局部亮度、对比度、结构信息相关性的比较, 求出其结构相似度。在大量对接图像中采集对接区域的特征点, 对接区域进行三维图像还原。获取几何阵关于  $z$  轴的子矩上的任意阶矩, 还原食品机械加工对接平台的对接信息。分析投影矩的定义及计算过程, 通过投影矩实现基于三维图像校对的食物机械加工对接平台设计, 针对目标函数, 通过 Powell 方法对其进行求解, 和最小值相应的解即为食品机械加工对接平台的对接结果。仿真试验结果表明, 所提方法具有很高的效率及对接精度。

### 1 基于三维图像的对接设备结构相似度计算

三维图像校对过程实际上就是利用三维视觉方法, 模拟人眼视觉校对过程, 对机械对接过程进行校对。其主要思想是利用三维信息计算对接设备的吻合结构相似度, 计算最大值, 完成最优对接位置的计算。

#### 1.1 结构相似度计算模型的基本思想

依据对接设备三维图像局部亮度、对比度、结构信息相关性的比较, 通过滑动窗口方法求出其大小, 一个窗口代表一个子图像, 结构相似度可描述成:

$$f_{SSIM}(X, Y) = [I(X, Y)]^\alpha \cdot [C(X, Y)]^\beta \cdot [S(X, Y)]^\gamma \quad (1)$$

$$I(X, Y) = \frac{2\mu_X\mu_Y + C_1}{\mu_X^2 + \mu_Y^2 + C_1} \in [0, 1] \quad (2)$$

$$C(X, Y) = \frac{2\sigma_X\sigma_Y + C_2}{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + C_2} \in [0, 1] \quad (3)$$

**作者简介:** 付雯(1981—), 女, 重庆电子工程职业学院副教授, 硕士。

E-mail: 53803810@qq.com

收稿日期: 2015-08-19

$$s(X,Y) = \frac{\sigma_{XY} + C_3}{\sigma_X + \sigma_Y + C_3} \in [-1,1] \quad (4)$$

式中:

$X$ 、 $Y$ ——用于描述原始设备图像的子图像和待校准设备图像的子图像;

$l(X,Y)$ 、 $c(X,Y)$ 、 $s(X,Y)$ ——分别用于描述  $X$  和  $Y$  的亮度相关函数、对比度相关函数以及结构相关函数,上述三项均相互独立;

为了避免分母是零造成的不稳定,  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$  取数值较小的常数。

$\mu_X$ 、 $\mu_Y$ 、 $\sigma_X$ 、 $\sigma_Y$ 、 $\sigma_{XY}$  分别用于描述  $X$ 、 $Y$  的亮度均值、标准差和协方差,其中协方差  $\sigma_{XY}$  可通过式(5)求出:

$$\sigma_{XY} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_X)(y_i - \mu_Y) \quad (5)$$

其中,  $N$  用于描述子设备图像的像素总量,针对多模态图像,因为对接设备图像内容有很大的差异,  $f_{SSIM}(X,Y)$  通常不为 1,甚至两幅对接设备图像成像亮度相反。对图像进行校对时,子图像间  $\sigma_{xx} < 0$ ,使得  $f_{SSIM}(X,Y)$  不再为最大值,所以,需对式(4)进行调整,用  $|\sigma_{XY}|$  替代  $\sigma_{XY}$ ,则有:

$$s(X,Y) = \frac{|\sigma_{XY}| + C_3}{\sigma_X + \sigma_Y + C_3} \in [0,1] \quad (6)$$

使  $s(X,Y)$  免于外界亮度信息的干扰。为了便于分析,本设计取  $\alpha = \beta = \gamma = 1$ ,则经调整后的对接设备图像的滑动窗口可描述成:

$$f_{SSIM}(X,Y) = \frac{(2\mu_X\mu_Y + C_1)(2|\sigma_{XY}| + C_2)}{(\mu_X^2 + \mu_Y^2 + C_1)(\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + C_2)} \in [0,1] \quad (7)$$

通过式(7)求出所有窗口中(子图像)的  $f_{SSIM}(X,Y)$  值,再对全部子图像进行累加平均:

$$\bar{f}_{SSIM} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M f_{SSIM}(X_j, Y_j) \quad (8)$$

式中:

$M$ ——用于描述子设备图像的数量;

$X_j$ 、 $Y_j$ ——用于描述第  $j$  个子图像。

归一化信息可描述成:

$$C_{NMI} = \frac{H_X + H_Y}{H_{XY}} \in [1,2] \quad (9)$$

式中:

$H_X$ 、 $H_Y$ ——分别用于描述原图像与待校对图像的边缘熵;

$H_{XY}$ ——用于描述上述二者的结构相似性,依次描述如下:

$$H_X = - \sum_x p(x) \log p(x) \quad (10)$$

$$H_Y = - \sum_y p(y) \log p(y) \quad (11)$$

$$H_{XY} = - \sum_{x,y} p(x,y) \log p(x,y) \quad (12)$$

其中  $p(x)$ 、 $p(y)$  分别用于描述原设备图像与待校对设备图像的概率密度;  $p(x,y)$  用于描述两幅图像之间的联合概率密度。

### 1.2 基于立体视觉校对的对接图像特征点的选取

根据上述图像识别原理可以选取 2 个最优的对接设备进行对接。

对接过程依据三维立体视觉原理,可塑造食品机械加工对接模型,实现食品机械加工对接平台三维图像对接校验。具体过程:

在对食品机械加工对接过程中,需要在前期确定的符合相似度要求的对接图像中采集对接区域的特征点,同时对对接区域进行有效的三维区域定位。食品机械加工对接过程采集的样本图像采集过程见图 1。

图 1 中,  $r$  用于描述食品机械加工对接图像像素点,利用图像采集设备  $E_1$  对机械对接平台图像的对节点进行采集,获取的对接点为  $r_1$ ,需同时通过  $E_1$ 、 $E_2$  两个图像采集设备完成对接平台其他对接点的图像采集,和该图像相应的实际对接平台特征点可记作  $R$ 。依据该特征点的空间位置,即可实现食品机械加工对接平台中,对接过程三维图像空间特征点的定位。

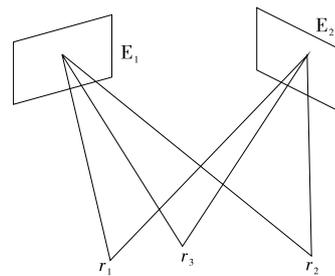


图 1 样本图像采集原理图

Figure 1 Sample image acquisition principle diagram

随机选择对接设备对接过程样本图像中的一点  $R$ ,该点在图像采集设备  $E_1$  和  $E_2$  上的特征点分别为  $r_1$  与  $r_2$ ,和上述两帧样本图像相应的投影矩阵可分别貌似成  $P_1$  和  $P_2$ ,则有:

$$B_{e1} \begin{pmatrix} \omega_1 \\ x_1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_{11}^1 & p_{12}^1 & p_{13}^1 & p_{14}^1 \\ p_{21}^1 & p_{22}^1 & p_{23}^1 & p_{24}^1 \\ p_{31}^1 & p_{32}^1 & p_{33}^1 & p_{34}^1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Z \\ A \\ B \\ 1 \end{pmatrix} \quad (13)$$

$$B_{e2} \begin{pmatrix} \omega_2 \\ x_2 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_{11}^2 & p_{12}^2 & p_{13}^2 & p_{14}^2 \\ p_{21}^2 & p_{22}^2 & p_{23}^2 & p_{24}^2 \\ p_{31}^2 & p_{32}^2 & p_{33}^2 & p_{34}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Z \\ A \\ B \\ 1 \end{pmatrix} \quad (14)$$

其中,  $(\omega_1, x_1, 1)$  与  $(\omega_2, x_2, 1)$  用于描述图像采集设备采集的对接时三维图像中特征点的坐标;  $(Z, A, B, 1)$  用于描述上述特征点在标准坐标系中的坐标;  $p_{ik}^m$  用于描述  $p_m$  第  $k$  行第  $i$  个元素。通过式(15)完成对上述特征点的扩展变换处理:

$$B_{e1} \omega_1 = p_{11}^1 Z + p_{12}^1 A + p_{13}^1 B + p_{14}^1 \quad (15)$$

$$B_{e1} x_1 = p_{21}^1 Z + p_{22}^1 A + p_{23}^1 B + p_{24}^1 \quad (16)$$

$$B_{e1} = p_{31}^1 Z + p_{32}^1 A + p_{33}^1 B + p_{34}^1 \quad (17)$$

对式(15)~(17)进行简化,则有:

$$(\omega_1 p_{31}^1 - p_{11}^1) Z + (\omega_1 p_{32}^1 - p_{12}^1) A + (\omega_1 p_{33}^1 - p_{13}^1) B = p_{14}^1 - \omega_1 p_{34}^1 \quad (18)$$

$$(x_1 p_{31}^1 - p_{21}^1) Z + (x_1 p_{32}^1 - p_{22}^1) A + (x_1 p_{33}^1 - p_{23}^1) B = p_{24}^1 - x_1 p_{34}^1 \quad (19)$$

通过式(18)、(19)可实现对接过程的三维图像虚拟仿真:

$$(\omega_2 p_{31}^2 - p_{11}^2)Z + (\omega_2 p_{32}^2 - p_{12}^2)A + (\omega_2 p_{33}^2 - p_{13}^2)B = p_{14}^2 - \omega_2 p_{34}^2 \quad (20)$$

$$(x_1 p_{31}^1 - p_{21}^1)Z + (x_1 p_{32}^1 - p_{22}^1)A + (x_1 p_{33}^1 - p_{23}^1)B = p_{24}^1 - x_1 p_{34}^1 \quad (21)$$

依据上述分析的方法,即可塑造食品机械交给对接平台识别模型,从大量对接图像中识别出关键图像,为食品机械加工对接平台设计提供可靠依据。

### 1.3 对接校对算法的设计

1.3.1 投影矩的定义及计算 针对上述分析提取的特征点,其几何矩可描述成:

$$\Delta nmi = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} x^n y^m z^i f(x, y, z) dx dy dz \quad (22)$$

可直接对矩进行计算,将其看作是食品机械加工设备对接图像的特征。然而由于计算量过大,很难将其应用于图像校对,因此,将式(22)转换成:

$$\Delta nmi = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} x^n y^m z^i \left[ \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y, z) z^i dz \right] dx dy \quad (23)$$

对式(23)括号中的表达式进行提取,定义几何阵关于 z 轴的子矩:

$$T_i(x, y) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y, z) z^i dz \quad (24)$$

获取  $T_i(x, y)$  在  $i \in \{0, 1, \dots\}$  上的任意阶矩后,即可有效还原食品机械加工对接信息  $f(x, y, z)$ 。

依据投影定义式(24)可以看出,在  $z = 0$  平面上,某点  $(\hat{x}, \hat{y})$  的  $i$  阶投影矩可描述成:

$$T_i(\hat{x}, \hat{y}) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(\hat{x}, \hat{y}, z) z^i dz \quad (25)$$

依据垂直于  $z = 0$  的直线  $x = \hat{x}, y = \hat{y}$  对与食品机械加工对接平台第  $n$  个三角贴面的交点进行计算,获取交点  $z$  值  $z_n = \hat{z}_n$ ,假设上述三角贴面的法向量是  $\varphi_x^n, \varphi_y^n, \varphi_z^n$ ,然后通过二值化条件获取:

$$T_i(\hat{x}, \hat{y}) = \sum_n \left( \frac{1}{i+1} \hat{z}_n^{i+1} \frac{\varphi_z^n}{|\varphi_z^n|} \right) \quad (26)$$

1.3.2 投影矩校对实现 假设存在两个食品加工机械,分别称作机械 1 和待对接机械 2,首先对机械 1 进行若干阶矩的投影转换,形成该机械的若干投影矩,用  $T_i^1(\hat{x}, \hat{y}), i = 0, 1, \dots, M$  进行描述,其中,  $M$  用于描述待求矩的最高阶数;然后完成对机械 2 的初始映射转换,对经转换后的机械 2 进行对应阶矩的投影矩计算,用  $T_i^2(\hat{x}, \hat{y}), i = 0, 1, \dots, M$  进行计算。定义下述目标函数:

$$\min f(X) = \sum_{i=0}^M [T_i^1(\hat{x}, \hat{y}) - T_i^2(\hat{x}, \hat{y})]^2 \quad (27)$$

其中,  $X = \Delta x, \Delta y, \Delta z, s_x, s_y, s_z, \theta_x, \theta_y, \theta_z$  用于描述待优化参数,分别用于描述待对接机械在  $x, y$  与  $z$  方向的位移、

缩放因子以及旋转角度。针对上述最小化问题,本研究通过 Powell 方法对其进行求解,和最小值相应的解即为食品机械加工对接平台的对接结果。

## 2 仿真试验分析

为了验证本研究基于三维图像校对的食品机械加工对接方法的有效性,需要进行相关的试验分析。试验在 Microsoft Visual C++ . Net 环境下进行,通过 MFC 类库完成界面交互,同时结合 VTK (visualization toolkit) 部分功能。VTK 是一种应用于 3D 计算机图形学、图象处理及可视化的软件系统工具。试验的原图见图 2。



图 2 食品加工机械图

Figure 2 Food processing machinery

对同一食品机械加工对接三维模型进行 2 次随机的轮廓勾画,将 2 个机械的映射变换关系用待对接机械在  $x, y$  与  $z$  方向的位移、缩放因子以及旋转角度进行描述,对一个机械进行映射变换,然后通过本方法求出该映射变换。得到三维图像见图 3。

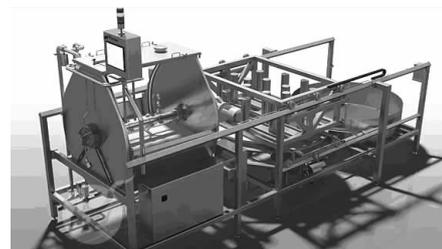


图 3 三维建模效果图

Figure 3 Rendering 3 d modeling

由表 1 可知,本方法的测试结果具有较高的精度,满足食品机械加工对接的需求。

表 1 本方法测试结果

Table 1 The method test results

测试	已知数据( $x, y, z$ 方向)			测试结果( $x, y, z$ 方向)			精度方差( $x, y, z$ 方向)		
	位移	缩放因子	旋转角度	位移	缩放因子	旋转角度	位移	缩放因子	旋转角度
1#	24.46, -31	13, -6, 19	0.03, 0.20, -0.03	26.00, 48.23, -33.34	12.44, -4.80, 18.18	0.04, 0.22, -0.04	1.334	0.588	0.060
2#	34, -20, 25	25, -17, 13	0.20, -0.06, 0.16	33.29, -18.34, 24.45	23.34, -16.68, 14.63	0.199, -0.070, 0.170	0.697	0.801	0.304

为了进一步验证本方法的有效性,分别对本方法和传统方法进行仿真试验。由图4可知,采用本方法所需耗时间一直低于传统方法。这是因为本方法首先对食品机械加工对接平台的对接过程进行三维仿真,再依据校对方法实现食品机械加工对接平台的设计,实现过程简单,计算量相对较低。由图5可知,采用本方法获取的准确度明显高于传统算法,说明本方法不仅具有较高的效率,还具有较高的准确度,验证了本方法的有效性。

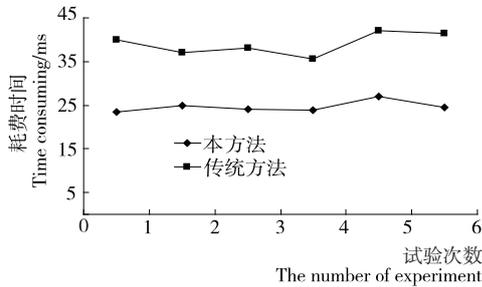


图4 本方法和传统方法所需时间比较

Figure 4 In this paper, the method and the time needed for traditional methods comparison results

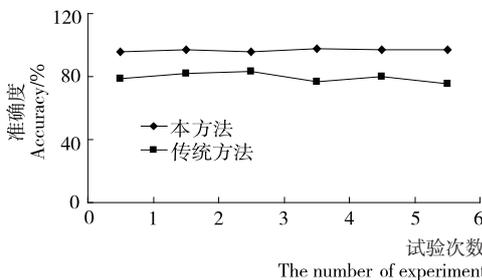


图5 本方法和传统方法准确度比较

Figure 5 Method and traditional method accuracy comparison results in this paper

### 3 结论

本研究提出一种基于三维图像校对的食品机械加工对接平台设计方法,分析了三维图像校对原理,依据三维图像局部亮度、对比度、结构信息相关性的比较,求出其结构相似度。在大量对接图像中采集对接区域的特征点,对接区域进行三维图像还原。获取几何阵关于z轴的子矩上的任意阶矩,还原食品机械加工对接平台的对接信息。分析了投影矩的定义及计算过程,通过投影矩实现基于三维图像校对的食品机械加工对接平台设计,仿真试验结果表明,所提方法具有很高的效率及对接精度。

#### 参考文献

- 1 李京娜,王国宏,孙少燕,等. 基于修改后的结构相似度的三维图像配准[J]. 光电工程, 2012, 21(12): 70~76.
- 2 余慧婷,张杰,潘萌. 噪声对三维图像归一化互信息配准的影响[J]. 中国医学影像学杂志, 2011, 19(11): 844~849.
- 3 刘东旭,刘洪,吕涛. 基于CT数据的三维配准技术在正畸中的应用[J]. 华西口腔医学杂志, 2010, 28(2): 119~123.
- 4 吕晓琪,李娜,张宝华,等. 基于体素相似性的三维多模态图像配准研究[J]. 中国医学影像学杂志, 2013, 14(2): 146~151.
- 5 周柏清,任勇军. 正则化最近点优化图像集匹配的三维人脸识别[J]. 计算机工程与应用, 2014(12): 169~174.
- 6 周世勋,张杰. 灰度预分割对三维医学图像配准的作用[J]. 中国医学影像学杂志, 2013, 21(4): 301~304.
- 7 吴晨,何建国,刘贵珊,等. 基于近红外高光成像技术的马铃薯干物质含量无损检测[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 126~130.
- 8 战旭梅,刘靖,刘萍. 高效液相色谱法测定香肠中亚硝酸盐含量[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 18~22.
- 9 晁学鹏. 冶金铁轨对接控制过程三维图像虚拟仿真[J]. 电气应用, 2014(20): 90~93.
- 10 孙谦,何明一. 三维重建中点云模型与纹理图像的配准[J]. 计算机仿真, 2011, 28(11): 218~221.

(上接第82页)

### 6 结论

安全问题对食品工业至关重要,RFID技术和无线传感器网络相结合来检测、追踪、定位食品的环境条件、传输过程,可以实现对食品安全问题的有效监控及预防。由于信号间的干扰和信道分配拥堵问题,而导致不能准确地接收和发送传感器的感测信息,是基于RFID技术的传感器网络的通病。本研究以食品安全监测为研究对象利用认知无线电技术的思想通过动态的频谱分配、接入方法可以有效地缓解此类问题。

#### 参考文献

- 1 杜育栋,杨灵鑫,李亮. RFID传感器网络在食品生产领域的研究[J]. 工业控制计算机, 2008, 21(5): 8~9.
- 2 胡建赞,李强,闵昊. 时隙ALOHA法在RFID系统防碰撞问题中的应用[J]. 应用科学学报, 2005, 23(5): 489~492.
- 3 翟霞晖,唐明浩,金慧芬. 一种基于时隙ALOHA的RFID系统防碰撞算法[J]. 微计算机信息, 2008, 24(17): 239~241.
- 4 万江文,吴佳灵,冯仁剑. 卡尔曼滤波在无线传感器网络节点定位中的应用[J]. 高技术通讯, 2009, 19(2): 151~156.

- 5 姚先连,胡贞,吕晓玲. 无线传感器网络中卡尔曼滤波在移动目标跟踪中的研究[J]. 长春理工大学学报(自然科学版), 2011, 34(3): 88~92.
- 6 陆佃杰,黄晓霞. 认知无线电在无线传感器网络中的应用[J]. 先进技术研究通报, 2009, 3(11): 18~22.
- 7 张欣,贾明华. 认知无线电思想在ZigBee无线传感器网络中的应用[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2009(7): 15~18.
- 8 Fabrizio Granelli, Zhang Hong-gang, Zhou Xiao-fei, et al. Research advances in cognitive ultra wide band radio and their application to sensor networks[J]. Mobile Networks and Applications, 2006, 11(4): 487~499.
- 9 Zhang Qi, Yang Hao, Wei Yu-guang, et al. Selection of destination ports of inland-port-transferring RHCTS based on sea-rail combined container transportation[C]//Innovation and sustainability of modern railway: Third international symposium on innovation and sustainability of modern railway (ISMR 2012), September 20~21, 2012, Nanchang, China. [S.l.]: [s.n.], 2012: 675~680.
- 10 Wang Bei-bei, Liu K J Ray. Advances in cognitive radio networks: A survey[J]. Selected Topics in Signal Processing IEEE Journal of, 2011, 5(1): 5~23.