

# 机器视觉和激光切割技术在异形吸塑包装中的应用研究

王卫翼, 张秋菊

(江南大学 机械工程学院, 无锡 214122)

**摘要:** 为了提高吸塑成型包装生产的自动化程度,改善异形吸塑包装的裁切工艺,提出了将机器视觉和激光切割技术引入吸塑包装的生产中,采用机器视觉与激光相结合实现了对异形吸塑包装的裁剪与切割的方法。该方法采用机器视觉获得异形吸塑包装的裁切模型和裁切路径,通过智能算法辅助加工,生成辅助连接路径,应用激光切割技术实现对吸塑包装的裁切,实现吸塑包装单体的分离或切边处理。介绍了此种裁剪和切割方法的原理与应用、机器视觉的相关算法,并将该方法进行了实际应用,效果良好。

**关键词:** 机器视觉; 激光切割; 异形吸塑; 包装

**中图分类号:** TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)23-0116-05

## Application of Machine Vision and Laser Cutting in Special-shaped Blister Packaging

WANG Wei-yi, ZHANG Qiu-ju

(School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** To improve the degree of automation of plastic blister packaging production, and improve cutting process of special-shaped plastic blister packaging, a method was put forward, which introduces machine vision and laser cutting technology into plastic blister packaging production, and combines machine vision with laser cutting to cut the special-shaped plastic blister packaging. The method applies machine vision technology to get the cutting mode and the cutting path of special-shaped plastic blister packaging, generates the auxiliary connection path by intelligent algorithm assisted machining, and uses laser cutting technology to cut plastic blister packaging in order to realize the separation or trimming. The principle and application of the cutting method, and correlation algorithm of machine vision was introduced. This method has been applied to practice and works well.

**Key words:** machine vision; laser cutting; special-shaped blister; packaging

吸塑成型又称真空成型,吸塑包装制品属于热成型包装制品的范畴,它是一种将一次加工成型的塑料片材,经预热和真空吸塑在一定的模具上,形成一种有一定形状包装制品<sup>[1]</sup>。裁切是吸塑包装制作工程中重要的工艺环节,裁切的主要目的是吸塑包装个体的切割分离或吸塑包装的去边剪切,即对加工好的整片吸塑包装进行切割分离以获得单个的包装产品,或对所需的吸塑包装产品进行修整、去除废边处理。异形吸塑包装是采用吸塑包装技术对不规则形状的物体进行包装,由于异形物体的三维空间形状和平面投影形状均表现为不规则形状,从而导致个体的裁切

边界为不规则图形。

目前,吸塑包装制品的裁切大多采用机械裁切的方式,即按照事先设计好的图形或模具进行制作成模型刀版或成型刀具进行裁切。传统裁切生产用模切刀根据产品设计要求的图样组合成裁切刃版,在压力的作用下(多采用冲床)对包装制品进行裁切,实现切割分离或去边处理。传统的裁切方法需要定制专用的模型刀具,而对于形状复杂的吸塑包装或异形吸塑包装,裁切模版的制作相当复杂,且制作周期较长,一套模具只能对应一套产品,系统柔性程度低,有些特殊的形状(如小角度锐角),使用模切的方式无法实现

收稿日期: 2013-04-12

作者简介: 王卫翼(1987-),男,河北唐山人,江南大学硕士生,主攻 CAD/CAM、机器视觉与图像处理。

裁切<sup>[2]</sup>。同时,由于压力裁切工艺的限制,裁切过程中存在着包装边缘发生弯折皱折、切边有毛刺等问题。随着激光加工技术的不断发展和成熟,在裁切工艺中引入激光切割,将很好地解决传统工艺存在的问题。文中针对异形吸塑包装裁切的激光切割方法进行研究,利用机器视觉替代传统的模切刀版,通过工业相机采集吸塑包装的图像,应用图像处理获得包装个体的裁切轮廓或边界。同时研究了吸塑包装的激光切割路径的生成方法。

## 1 异形吸塑包装中激光切割的应用

### 1.1 激光切割原理

激光切割是利用经聚焦后的高功率密度激光束照射工件,此时光束输入由光能转换的热量大大超过被材料反射、传导或扩散的部分,使被照射处的材料迅即熔化、汽化、烧蚀或达到燃点,工件被刺穿形成小孔,随着光束与材料沿一定轨迹相对线性移动,使这些小孔连起来形成切缝,同时借与光束同轴的高速气流吹除熔融物质,从而实现割开工件的一种热切割方法<sup>[3]</sup>。

激光切割是熔化与汽化相结合的过程,影响其切割质量的因素主要包括硬件因素和软件因素。硬件因素主要指机床、加工材料等,而软件因素主要是计算机辅助工艺设计的相关内容,具体包括:切割初始位置或打孔点的选择;主要切割路径的设置;辅助切割路径的设置;激光束半径补偿和空行程处理;加工工件的优化排样;考虑实际加工因素后的路径优化。

### 1.2 激光切割异形吸塑包装的原理

异形吸塑包装的材料包括 ABS、PVC、PP、PE、PS 等热塑性塑料片材,裁切过程中采用激光进行切割属于激光切割非金属材料,切割机理为汽化切割。非金属材料是波长为  $10.6\ \mu\text{m}$  的  $\text{CO}_2$  激光束的良好吸收体。由于材料的导热率小,热量的传导损失很小,能吸收绝大部分入射光束能量,并很快使材料蒸发,由光斑照射处形成起始孔洞,进入切割过程。汽化切割是指当高功率密度的激光照射到工件表面,材料在极短的时间内被加热到汽化点,部分材料化作蒸汽逸去,形成割缝。大部分有机材料和陶瓷均采用汽化切割的方式<sup>[4]</sup>。

针对异形吸塑包装的塑料材料的切割,激光切割利用其高能量密度汽化胶合剂,迅速破坏聚合体材料

的聚合链,实现对塑料制品的激光切割。对于低熔点热塑材料,控制好激光切割工艺,可以获得无毛刺的底边,切缝光滑、平整。对 PVC 材料的吸塑包装进行切割时需注意防护切割过程中生成的有害气体。

### 1.3 激光切割异形吸塑包装的优势

激光切割作为工业切割加工中较为先进的切割方法,同时也是激光加工技术中最为成熟的技术之一,将其应用在异形吸塑包装的裁切工艺中,替代传统的机械裁切方式,能够体现出众多优势,具体如下所述。

1) 激光切割作为一种无接触切割,切割过程中无机械挤压和冲切,不会对吸塑包装造成挤压和弯折,吸塑包装无机械变形、边缘无褶皱。

2) 激光切割的功率密度高,切缝宽度小,切割边界整齐,无毛刺。由于激光作用时间短,工件周边的热影响区小。同时针对不同的材料,均可进行切割,适应性强。

3) 激光切割异形吸塑包装时,不存在传统裁切中的刀具磨损问题,故可以省去刀具维护和换刀的步骤。

4) 激光切割时只需定位,不需要加紧、划线等准备工序,因而吸塑包装无机械应力及表面损伤。

5) 采用激光切割对异形吸塑包装进行裁切,可以方便地与自动化装备进行结合,提高裁切系统的柔性,无需定制模具。既可以进行大规模生产切割,也可以进行单个体、小数量吸塑包装的去边、整形切割。

6) 采用激光切割对异形吸塑包装进行裁切,可使裁切脱离模具的限制,将切割系统与计算机和 CAD 软件相结合,能够完全自主地控制切割路径,可以裁切任意复杂形状的包装边界,实现传统方式无法切割的边界或形状,具有无限的仿形切割能力。

尤其针对异形吸塑包装,由于包装外形的不规则、多变化与复杂性,同时可能存在单件、小批量的试切,传统的模具裁切方式难以实现裁切的精确性与复杂适应性,这使得激光切割的优势在异形吸塑包装的裁切中体现得更加淋漓尽致。

## 2 机器视觉辅助激光切割

传统的吸塑包装的裁切方式均要依赖模具刀版,尤其是异形吸塑包装,由于其外形不规则,边缘形状复杂,为模具刀版的制作造成了很大的困难,并且有

些特殊形状的裁切是无法完成的。在采用激光切割的方式代替吸塑包装传统的机械裁切的过程中,可采用机器视觉技术替代传统的模板,进而使裁切脱离对模板的依赖,使得异形吸塑包装的裁切更加的灵活,大大提高裁切系统的柔性。

在激光切割吸塑包装板料的过程中,激光头的运动路径主要包括 2 部分:根据待加工零件轮廓生成的加工轨迹(即激光切割路径)和各个切割路径间的辅助连接路径(包括起始、结束的辅助路径以及各零件轮廓间的连接路径)<sup>[5]</sup>。在机器视觉辅助激光进行异形吸塑包装裁切的过程中,既要应用机器视觉和图像处理准确的生成待加工零件的轮廓切割轨迹,又要根据待加工零件的排布情况,自动生成各辅助连接轨迹,并保证各连接轨迹的合理有效。

### 2.1 异形吸塑包装产品裁切轮廓的生成

异形吸塑包装的裁切包括对加工好的整片多个吸塑包装进行切割分离以获得单个的包装产品的整版裁切,和对所需的单个吸塑包装产品进行修整、去除废边处理的单体去边裁切。在 2 种裁切方式中,均需要在激光切割前获得需要裁切产品的轮廓轨迹,以便生成激光切割的加工轨迹。文中根据异形吸塑包装裁切的特点,对激光切割系统进行改进,在系统中加入机器视觉系统,通过工业相机获取待切割工件的图像,以此为基础,通过对图像进行相关处理,获得工件的轮廓轨迹,此即为激光实际切割路径。

图像处理中边界轮廓提取算法包括很多种,包括 Sobel 算子、Log 算子、Laplace 变换、Robert 算子、Canny 算子等,这些算子均以二维离散微分为核心,并辅以相关滤波和处理来实现边缘的提取。

通过实验和处理结果比对,选取 Canny 算子作为异形吸塑包装裁切中激光切割轮廓轨迹的生成算法。Canny 算法具有既能滤去噪声又能保持边缘特性的边缘检测最优滤波器,其采用一阶微分滤波器。此算法采用二维高斯函数的任意方向上的一阶方向导数作为噪声滤波器,通过与图像卷积进行滤波;然后对滤波后的图像寻找图像梯度的局部最大值,以此来确定图像边缘。根据对信噪比与定位乘积进行测度,得到最优化逼近算子<sup>[6]</sup>。同时对得到的所有轮廓轨迹进行筛选处理,只保留包装制品的最外层轮廓,此即为激光的实际切割路径。

由于激光的实际切割路径为闭合轮廓曲线,所以对每个轮廓轨迹的切割均从其上的某一点开始,沿闭

合的轮廓轨迹切割一周后再次回到这一点。这一点作为切割起始点,亦是每个单独轮廓轨迹的切割终止点。这样,这一点也成为了每个轮廓轨迹的一个标记点,即可以通过某一个切割起始点来确定一个轮廓轨迹,而切割起始点也表征着该轮廓与其他轮廓的位置关系。在对图像进行获取轮廓轨迹的处理后,根据加工工艺需要自动生成每个轮廓轨迹的起始切割点。

### 2.2 辅助连接路径的生成

在自动生成切割路径的过程中,既要准确地生成待加工零件的轮廓切割轨迹,又要根据待加工零件的排布情况,自动生成各辅助连接轨迹,并保证各连接轨迹的合理性。对于普通面板料的切割,辅助连接路径的生成相对容易,通常将问题转化为旅行商 TSP (Traveling Salesman Problem) 问题<sup>[7-8]</sup>,遵循最短路径原则进行求解,以保证加工效率。而对于异形吸塑包装制品,由于塑料板材经过吸塑加工后,会形成空间凸起,形状、高低各异,故除了最短路径原则外,还必须考虑激光头避开物料的凸起部位,即刀具避障问题。

文中应用人工智能领域中的  $A^*$  算法实现激光切割辅助连接路径的生成和自动避障。

$A^*$  算法属于人工智能领域中一种启发式搜索算法。启发式搜索是对状态空间搜索方法中的宽度优先搜索进行的改进,其主要思路是在宽度优先搜索的同时,先将下一层的所有节点通过一个估价函数进行过滤,然后再决定搜索的方向<sup>[8]</sup>。

启发式搜索算法的核心是估价函数  $f(n)$ :

$$f(n) = g(n) + h(n) \quad (1)$$

式中: $f(n)$ 为估价函数; $g(n)$ 为状态空间中从初始状态到当前状态的实际代价; $h(n)$ 为状态空间中从当前状态到目标状态的估计代价。扩展状态节点时,首先计算每个节点的估价函数  $f(n)$ ,然后选择估价函数  $f(n)$  最小的节点进行扩展。如果一个搜索算法一定能找到最佳求解路径,称之为可采纳性。

$A^*$  算法的核心为估价函数  $f^*(n)$ :

$$f^*(n) = g^*(n) + h^*(n) \quad (3)$$

式中: $f^*(n)$ 为估价函数; $g^*(n)$ 为状态空间中从初始状态到当前状态的实际代价; $h^*(n)$ 为状态空间中从当前状态到目标状态的估计代价。由于  $f^*(n)$  无法预先知道,因此,用前面的估价函数  $f(n)$  作近似; $g^*(n)$  用  $g(n)$  作近似,但要求  $g^*(n) \leq g(n)$ ;  $h^*(n)$  用  $h(n)$  作近似,但要求  $h^*(n) \geq h(n)$ 。数学

上已经证明,满足这些条件的估价函数可以找到最短路径,也就是说它是可采纳的,故  $A^*$  算法是可采纳的。

对于异形吸塑包装裁切中的整版分离裁切和单体去边裁切,应用  $A^*$  算法均可实现辅助连接路径的自动生成。同时,对于单体去边裁切,采用激光切割与  $A^*$  算法辅助处理,既可以一次切割一个包装制品,也可以人工将多个单体包装随机摆放在切割工作台上,进行一次切割多个单体包装,提高加工效率。

应用  $A^*$  算法可以生成整版中各个包装单体轮廓轨迹间和随机摆放的单体包装轮廓轨迹间的辅助连接路径,此辅助连接路径的起点和终点分别为先后切割的 2 个轮廓轨迹的各自的切割起始点。这 2 个切割起始点同样是  $A^*$  算法中的起始节点和目标节点。故只需已知起始节点和目标节点的坐标,通过  $A^*$  算法,即可自动生成 2 个包装单体轮廓轨迹间的辅助连接路径,同时保证自动生成的连接路径为最优解,并且与包装凸起区域无干涉。

### 3 异形吸塑包装的激光裁切系统组成与加工

根据应用激光切割异形吸塑包装的工艺特点,同时辅以机器视觉设备,整体异形吸塑包装的激光裁切系统组成框图见图 1。

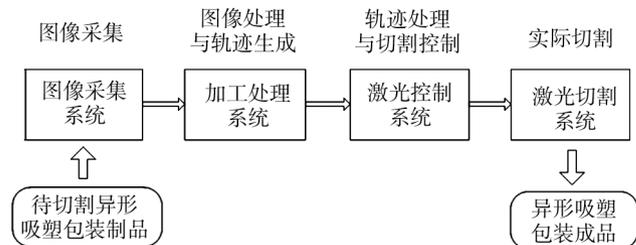


图 1 异形吸塑包装激光裁切系统

Fig. 1 Special-shaped plastic sucking packaging laser cutting system

此激光裁切系统中,图像采集系统为信息输入系统,通过工业相机采集需要加工的异形吸塑包装制品的图像信息。加工处理系统为输入信息的处理系统,通过图像处理、边界提取、轨迹生成等算法的处理,生成激光数控系统能够识别和读取的加工轨迹数据。

激光控制系统为此系统的控制核心,实现对加工轨迹的后处理、加工参数的配置与优化和系统的实际控制等功能。激光切割系统为此系统的执行部分,通过激光切割实现对异形吸塑包装制品的裁切。

选取需要进行单体去边裁切的异形吸塑包装制品进行加工,见图 2-3。其中,图 2 为图像采集系统采集到的异形吸塑包装制品单体排布图像,黑色区域即为异形吸塑包装边界及内部覆盖区域(经过了前期处理),图 3 为应用 Canny 算法和  $A^*$  算法获得的激光切割轨迹(包括轮廓实际边缘和辅助加工轨迹,为避免混淆,图 3 中未表示出退刀轨迹;2 幅图片外围的黑色边框为了显示图片的边界,并非加工轨迹)。

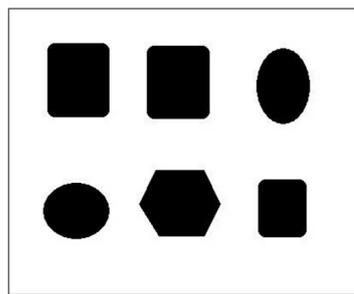


图 2 异形吸塑包装单体裁切样本

Fig. 2 Single cutting samples of special-shaped plastic sucking packaging

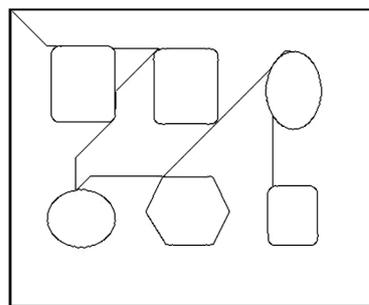


图 3 激光切割裁切的加工轨迹

Fig. 3 Machining path of laser cutting

### 4 结语

对应用机器视觉和激光切割对异形吸塑包装进行裁切进行了研究,提出了采用图像处理与  $A^*$  算法相结合的方法替代传统裁切中对模板的依赖,能够很好地解决具有复杂轮廓和不规则轮廓的异形吸塑包装制品的裁切问题,并在实际应用中取得了良好的效果。在不同工业环境和噪声干扰下,对采集到的吸塑

包装图像进行处理的方法仍需进一步研究,以提高系统的适应性和加工的精度。

### 参考文献:

- [1] 刘玮,郁舒兰,丁伟.真空吸塑机及其性能实验研究[J].包装工程,2011,32(18):34-37.  
LIU Wei, YU Shu-lan, DING Wei. Research on the Vacuum Forming Machine and Its Performance Experiment [J]. Packaging Engineering, 2011, 32(18):34-37.
- [2] 徐世垣.激光模切-迎来模切工艺新时代[J].印刷技术,2011(4):15-16.  
XU Shi-yuan. Laser Die-cutting-usher in a New Era of Die-cutting Process [J]. Printing Technology, 2011(4):15-16.
- [3] 邝贤锋.激光技术在塑料薄膜加工中的应用[J].包装工程,2006,27(2):15-16.  
KUANG Xian-feng. Application of Laser Technology in Polymer Film Processing [J]. Packaging Engineering, 2006, 27(2):15-16.
- [4] FATIMAH S, ISHAK M, AQIDA S N. CO<sub>2</sub> Laser Cutting of Glass Fiber Reinforce Polymer Composite [J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2012(36):12-33.
- [5] 李妮妮,陈章位,陈世泽.基于局部搜索和遗传算法的激光切割路径优化[J].计算机工程与应用,2010,46(2):234-239.  
LI Ni-ni, CHEN Zhang-wei, CHEN Shi-ze. Optimization of Laser Cutting Path Based on Local Search and Genetic Algorithm [J]. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(2):234-239.
- [6] 冯珂,朱敏,钟煜,等.一种改进的Canny边缘检测AGT算法[J].计算机应用与软件,2012,29(3):265-300.  
FENG Ke, ZHU Min, ZHONG Yu, et al. An Improved Canny Edge Detection Agt Algorithm [J]. Computer Applications and Software, 2012, 29(3):265-300.
- [7] 阮亮中,张利,吴超.一种新的TSP问题环路构造算法及其在激光雕刻机路径控制中的应用[J].中国图象图形学报,2007,12(6):1114-1118.  
RUAN Liang-zhong, ZHANG Li, WU Chao. A New Tour Construction Algorithm and Its Application in Laser Carving Path Control [J]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12(6):1114-1118.
- [8] 刘会霞,王霄,蔡兰.钣金件数控激光切割割嘴路径的优化[J].计算机辅助设计与图形学学报,2004,16(5):660-665.  
LIU Hui-xia, WANG Xiao, CAI Lan. Torch Path Optimization for NC Laser Cutting of Sheet Metal Part [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2004, 16(5):660-665.
- [4] 吕兆锋,王晓红.基于饱和度优先的BP神经网络颜色空间转换模型研究[J].包装工程,2013,34(3):117-120.  
LYU Zhao-feng, WANG Xiao-hong. Research on Color Space Conversion Model Based on Saturation Priority BP Neural Network [J]. Packaging Engineering, 2013, 34(3):117-120.
- [5] DING Shi-fei, SU Chun-yang. Application of Optimizing BP Neural Networks Algorithm Based on Genetic Algorithm [C]//Control Conference (CCC), 2010.
- [6] CHENG H D, CAI Xiao-peng, MIN Rui. A Novel Approach to Color Normalization Using Neural Network [J]. Neural Computer & Application, 2009(18):237-247.
- [7] 吴玉超.印刷质量控制方法之色度计的原理及应用[J].印刷质量与标准化,2010(8):13-14.  
WU Yu-chao. Principle and Application of Colorimeter for Printing Quality Control Methods [J]. Printing Quality & Standardization, 2010(8):13-14.
- [8] 李丽霞,张逸新.神经网络在色空间转换中的应用[J].包装工程,2011,32(9):116-118.  
LI Li-xia, ZHANG Yi-xin. Neural Network Application in the Color Space Conversion [J]. Packaging Engineering, 2011, 32(9):116-118.

(上接第106页)