

鲜切蔬菜包装过程袋膜纠偏控制系统设计

吕俊霞, 焦欣欣

(河南工业职业技术学院, 河南 南阳 473000)

摘要: **目的** 为了减小鲜切蔬菜包装机袋膜跑偏对产品外观和质量造成的影响, **方法** 提出一种基于模糊控制的智能纠偏控制方案。在分析包装薄膜跑偏原因的基础上, 论述纠偏系统的工作原理。采用机器视觉获取包装薄膜的实际位置, 并计算跑偏量。结合模糊控制和灰色预测设计一种模糊控制器, 包括包装膜位置灰色预测模型和模糊加权 PID 控制。最后进行试验研究。**结果** 试验结果表明, 所述纠偏控制系统可将纠偏误差控制在 ± 0.5 mm 内, 实际偏移量最大值仅为 0.4 mm, 平均误差只有 0.19 mm。**结论** 该控制系统可以有效地提高系统纠偏精度, 能较好地满足鲜切蔬菜包装工艺要求。

关键词: 鲜切蔬菜; 纠偏; 模糊控制; 灰色预测

中图分类号: TB486 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)21-0205-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.21.030

Bag Film Design of Deviation Correction Control System in the Process of Fresh-cut Vegetable Packaging

LYU Jun-xia, JIAO Xin-xin

(Henan Polytechnic Institute, Nanyang 473000, China)

ABSTRACT: The work aims to reduce the impact of bag film deviation of fresh-cut vegetable packaging machine on the product appearance and quality. An intelligent deviation correction control scheme was presented based on fuzzy control. On the basis of analyzing the reasons of deviation of packaging film, the working principle of deviation correction system was discussed. Machine vision was used to obtain the actual position of packaging film and calculate the deviation. A fuzzy controller was designed by combining fuzzy control and grey prediction, including grey prediction model of packaging film position and fuzzy weighted PID control. Finally, an experimental study was carried out. The test results showed that, the proposed deviation correction control system could control the deviation correction error within ± 0.5 mm, the maximum value of the actual deviation was only 0.4 mm, and the average error was only 0.19 mm. The control system can effectively improve the accuracy of system deviation correction and better meet the requirements of fresh-cut vegetable packaging technology.

KEY WORDS: fresh-cut vegetable; deviation correction; fuzzy control; grey prediction

鲜切蔬菜指能够直接烹饪或食用的蔬菜产品, 是经过清洗、去皮、切割、分选、包装等工艺制作而成^[1-3]。鲜切果蔬加工始于 20 世纪 50 年代, 最先出现在美国, 并于 20 世纪 60 年代开始商业化。随着肯德基、麦当劳等快餐行业进入中国, 一些鲜切蔬菜供应商同时被引入, 我国鲜切蔬菜相关行业开始发

展。诸多研究表明, 影响鲜切蔬菜品质的因素较多, 其中包装是一个不可忽略且十分重要的因素^[4-5]。

在鲜切蔬菜自动包装过程中, 包装袋膜往往不能始终保持直线运动, 导致袋膜出现“跑偏”现象。包装膜“跑偏”的原因较多, 大体可以概括为送膜杆加工精度不高, 安装位置不当, 包装膜受力不均匀, 纵封、

收稿日期: 2019-04-24

作者简介: 吕俊霞 (1963—), 女, 工学硕士, 副教授, 主要研究方向为电气自动化。

横封瞬时速度和拉膜速度不一致等^[6-9]。跑偏后果比较严重,容易造成包装袋漏气、褶皱、封口不整齐等质量问题,甚至会导致制袋成型器被卡死,使包装机无法正常工作^[10]。针对此类包装膜跑偏问题,目前普遍采用纠偏装置进行解决。常用纠偏装置大多通过包装膜色标实现边缘位置的判定,但是光电检测过程往往会漏掉一些信号点,导致检测精度不高。相比而言,机器视觉具有高速、高精度、信息量大等特点,完全可以避免光电检测的不足^[11-13]。目前,机器视觉在纠偏控制领域的应用研究较多,例如:陆兵等^[14]以软包装袋材为研究对象,基于机器视觉设计了一种自动纠偏系统,同时结合模糊 PID 实现纠偏控制。虽然纠偏效果有所改善,但是模糊控制规则全凭经验进行设计,控制精度有待进一步提高,无法用于鲜切蔬菜包装。阎龙等^[15]以布带跑偏为研究对象,基于 CCD 相机设计了一种纠偏系统,并介绍了模糊 PID 控制方法,但是仅仅研究了布带纠偏,不适合于鲜切蔬菜包装,其应用范围有限。

在现有纠偏控制的基础上,引入灰色预测模型,提前预判下一时刻包装膜位置,即可简化模糊控制规则,又可改善系统实时性,提高控制精度。结合机器视觉和模糊控制算法设计一种纠偏控制系统,并将其应用到鲜切蔬菜自动包装机械中,通过试验验证所述控制系统的稳定性和精度。

1 跑偏原因和纠偏工作原理

1.1 跑偏原因

鲜切蔬菜包装过程主要依靠送料机构、送膜机构、纵封横切机构、电气控制配合完成,其中送膜机构包括放膜辊、导向辊、压膜辊、喷码机、传感器等,见图 1。在电机带动下,压膜辊在实现送膜的同时配

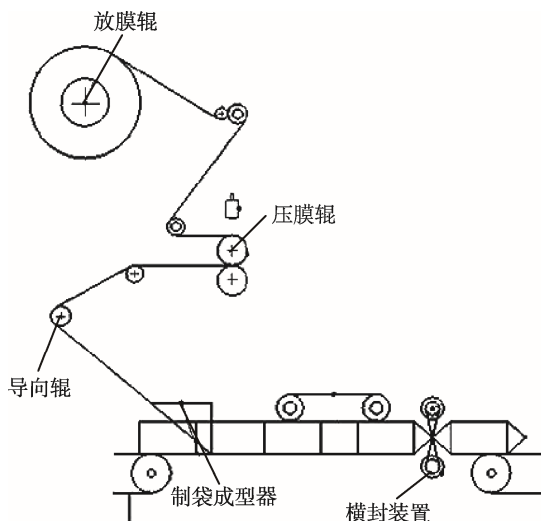


图1 拉膜机构

Fig.1 Membrane pulling mechanism

合导向辊使包袋膜具有一定张力,从而确保包装膜表面平整,同时保证输送速度恒定。

综合分析,跑偏原因大体有以下几种。

1) 压膜辊、导向辊制造误差。包装膜输送主要依靠摩擦力,制造误差会使辊子具有一定锥度。虽然锥度很小,但是在牵引力作用下,仍会导致包装膜所受摩擦力分布不均匀,进而产生横向偏移力,造成包装膜跑偏。

2) 安装误差。安装精度稍有偏差就会造成辊子倾斜,很容易产生横向偏移力,导致包装膜跑偏。

3) 包装膜张力分布不均匀。绝大多数包装膜为聚乙烯类材料,同时其厚度不可能绝对均匀。在一定拉力作用下,包装膜会发生形变,厚度不均会造成张力分布不均,进而导致形变大小不一,所以会使包装膜跑偏。

4) 送膜速度、纵封速度和横封速度不一致。速度不同步会造成“拉膜”或“堆膜”等现象,此时包装膜所受张力会发生瞬变,非常容易跑偏。

综上所述,在鲜切蔬菜的整个包装过程中,造成包装膜跑偏因素较多。理论上,想要同时避免上述因素,达到理想状态是不可能的,所以包装膜的跑偏现象很难避免。只有通过偏差补偿逐渐减小袋膜跑偏量,使其保持在包装工艺允许范围内,最终达到鲜切蔬菜包装要求。

1.2 纠偏工作原理

纠偏系统工作原理见图 2,检测装置(工业相机)获取包装膜边缘原始图像,经过相关处理、模数转换后便可分析出包装膜边缘的实际位置,并将其发送到纠偏控制器。通过比较设定位置和实际位置,二者之差就是“跑偏量”。根据纠偏算法生成与偏差相对应的控制信号,同时需要将其发送至执行器。执行器会驱动纠偏机构动作,如此则可将包装膜“跑偏量”控制在理想范围内。经分析可以发现,纠偏精度取决于

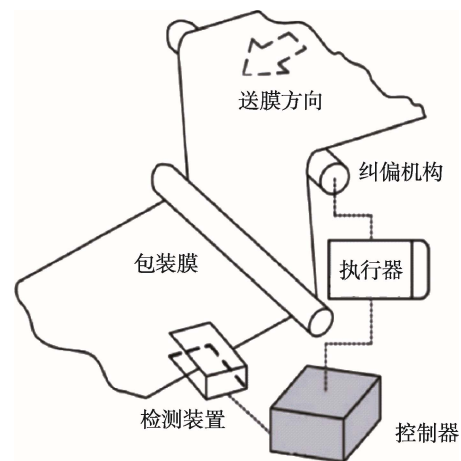


图2 纠偏控制系统工作原理

Fig.2 Working principle of deviation correct control system

2 个方面：工业相机检测精度、执行器响应速度。

综上所述，只有检测精度高、响应速度快、定位准确、纠偏算法合理，才能提高系统控制精度，防止系统发生自激振荡。

2 模糊控制器设计

根据鲜切蔬菜包装机的工作特点，发现包装膜非常容易被蔬菜“粘连”，其表面变形程度与普通包装机械相比更大、更不规则；除个别品种的蔬菜外，绝大多数蔬菜切后形状并不规则，质量差距比较明显，这样增加了包装的难度。普通包装机械采用模糊 PID 控制即可满足相关包装工艺要求，但是鲜切蔬菜包装过程中包装膜位置变化频率比较高、随机性强，所以文中设计一种基于灰色预测的模糊 PID 控制器，以实现纠偏控制。

控制器结构见图 3，通过灰色预测模型预测下一时刻包装薄膜位置偏差，并反馈控制器输入，这样就可以给控制器提供超前信息，便于其实现超前控制。通过将预测模型输出值和设定值作比较，得到了位置偏差和偏差变化率，可作为模糊控制和加权 PID 控制的输入量。模糊控制器在线调整 PID 的比例系数和权重系数，使其具有良好的跟随性和适应性。图 3 中， r 表示包装膜设定位置； y 表示过程位置； u 表示加权 PID 输出。

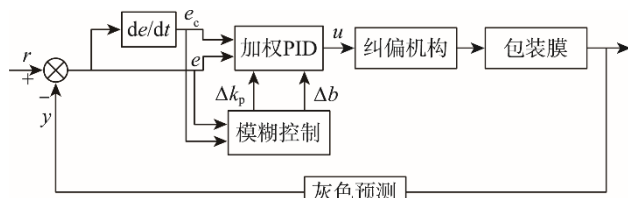


图 3 控制器结构

Fig.3 Controller structure

2.1 包装膜位置灰色预测模型

灰色理论通过对部分已知信息的提取、开发，实现对未来变化的定量预测。文中以包装膜实时位置为原始数据，建立了 GM(1,1) 模型，可预测包装膜下一时刻位置。为了充分考虑系统扰动因素，可选用等维滚动预测算法，即 GM(1,1) 模型不断将新数据加入原始数据中，但是这种方法会导致原始数据过于庞大。为了解决此问题，可使用新数据代替旧数据，以保持维数不变。

根据包装膜实际位置建立原始数据序列，即：

$$s^{(0)} = (s^{(0)}(1), s^{(0)}(2) \dots s^{(0)}(n)) \quad (1)$$

定义 $s^{(0)}$ 为 $s^{(0)}$ 的 1-AGO 序列，可表示为：

$$s^{(0')} = (s^{(0')}(1), s^{(0')}(2) \dots s^{(0')}(n)) \quad (2)$$

其中

$$s^{(0')}(k) = \sum_{i=1}^k s^{(0)}(i) \quad k=1,2 \dots n \quad (3)$$

通过对 $s^{(0')}$ 进行紧邻均值运算，可得到 $s^{(0)}$ 的均值序列：

$$s^{(1)} = (s^{(1)}(1), s^{(1)}(2) \dots s^{(1)}(n)) \quad (4)$$

$$t^{(1)}(k) = 0.5(s^{(0')}(k) + s^{(0')}(k+1)) \quad k=1,2 \dots n \quad (5)$$

可用均值形式表示 GM(1,1) 模型，即：

$$s^{(0)}(k) + as^{(1)}(k) = b \quad (6)$$

式 (6) 的微分方程可表示为：

$$\frac{ds^{(1)}}{dt} + as^{(1)} = b \quad (7)$$

式中： a 为发展系数； b 为灰色作用量。定义参数向量如下：

$$\hat{a} = [a, b]^T \quad (8)$$

式 (8) 可用最小二乘法估计，即：

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (9)$$

其中：

$$Y = \begin{bmatrix} s^{(0)}(1) \\ s^{(0)}(2) \\ \vdots \\ s^{(0)}(n) \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} -s^{(1)}(1) & 1 \\ -s^{(1)}(2) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -s^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix}$$

式 (7) 的时间响应方程式可表示为：

$$\hat{s}^{(1)}(k) = \left(s^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right) e^{-a(k-1)} + \frac{b}{a} \quad k=1,2 \dots n \quad (10)$$

考虑到 $\hat{s}^{(0)}(k) = \hat{s}^{(1)}(k) - \hat{s}^{(1)}(k-1)$ ，进一步求得 $S^{(0)}$ 时间响应式为：

$$\hat{s}^{(0)}(k) = (1 - e^a) \left(s^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right) e^{-a(k-1)} \quad (11)$$

那么等维 GM(1,1) 的预测模型可表示为：

$$\hat{s}^{(0)}(h+k_1) = \left(s^{(0)}(h-m+1) - \frac{b}{a} \right) \cdot \left(e^{-a(m+k_1-1)} - e^{-a(m+k_1-2)} \right) \quad (12)$$

式中： h 为采样时刻； m 为原始数据序列维数； k_1 为预测步数。

2.2 模糊加权 PID 控制

引入权重的 PID 控制算法可以描述为：

$$y = K_p \left[(b \cdot w - x) + \frac{1}{t_I s} (w - x) + \frac{t_D s}{a \cdot t_D s + 1} (c \cdot w - x) \right] \quad (13)$$

式中： y 为输出值； x 为过程值； K_p 为比例增益； t_I 为积分作用时间； t_D 为微分作用时间； b 为比例作用系数； a 为微分延迟系数； c 为微分作用权重； w 为设定值。

为了提高算法适应性,可采用模糊控制对权重 b 和比例系数 K_p 进行调整。模糊控制并不依赖系统数学模型,可根据现场人员经验或专家知识,解决非线性和滞后问题。首先,获取位置偏差 e 及其变化率 e_c ; 然后,模糊化处理;第3步,通过模糊推理和解模糊化计算出不同调节量 ΔK_p 和 Δb ; 最后,在线修正加权 PID 参数,可描述为:

$$\begin{cases} K_p = K'_p + \Delta K_p \\ b = b' + \Delta b \end{cases} \quad (14)$$

式中: K'_p 为原始 PID 系数; b' 为权重设定值。

为了拓展系统适用范围,文中将模糊控制器的输入量 e 和 e_c 的基本论域设定为 $[-15, 15]$, 量化论域设定为 $[-3, 3]$ 。根据实际应用经验,可将 K_p 的基本论域设定为 $[0, 10]$, 量化论域设定为 $[-3, 3]$; b 的基本论域设定为 $[-1, 1]$, 量化论域设定为 $[-3, 3]$ 。根据基本论域和量化论域便可计算量化因子和比例因子。

通常情况下,语言变量 E 可用于描述偏差 $e(k)$, 相应模糊子集为:

$$A_i = \{NB, NM, NS, O, PS, PM, PB\} \quad (15)$$

同理,语言变量 EC 可用于描述偏差变化率 $\Delta e(k)$, 相应模糊子集为:

$$B_i = \{NB, NM, NS, O, PS, PM, PB\} \quad (16)$$

另外,模糊关系可表示为:

$$R: \text{如果 } e_i = A_i, \Delta e_i = B_i, \text{ 则 } \Delta u = C_i \quad (17)$$

模糊控制的输入和输出所对应隶属度函数分布情况见图 4。

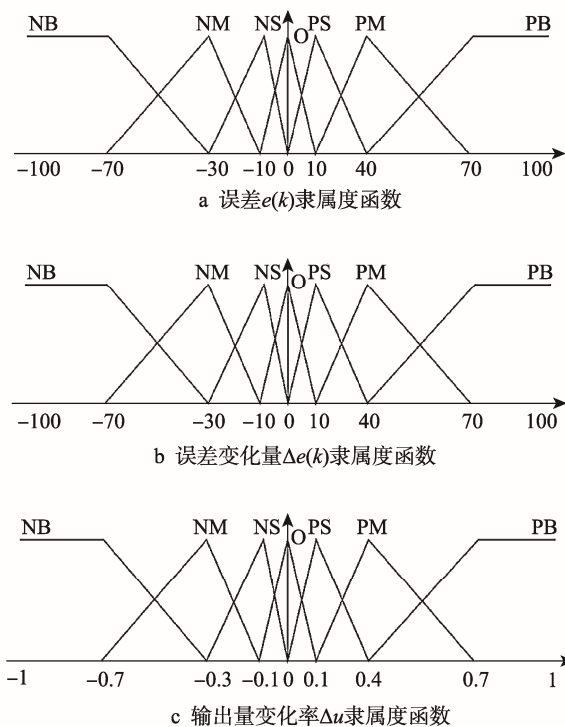


图4 隶属度函数

Fig.4 Membership function

文中所用模糊控制规则见表 1。

表 1 模糊控制规则
Tab.1 Fuzzy control rule

模糊子集	NB	NM	NS	O	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PM	O	O
NM	PB	PB	PM	PS	PS	O	NS
NS	PB	PM	PS	PS	O	NS	NS
O	PM	PM	PS	O	NS	NM	NM
PS	PS	PS	O	NS	NS	NM	NM
PM	PS	O	NS	NS	NM	NB	NB
PB	O	O	NS	NM	NM	NB	NB

3 试验研究

为验证所述纠偏控制系统的可行性和有效性,文中进行了相关试验研究,试验平台见图 5。



图5 试验平台

Fig.5 Test platform

试验过程中相关参数的设置:包装速度为 35~70 包/min;相应送膜速度为 120~400 mm/s;包装尺寸,长为 20~34 cm,宽为 16~28 cm;包装袋膜为聚乙烯薄膜,宽度为 28 cm。

步进电机型号为 ASLONG PG-36-42BY,该电机具有非常好的定位精度。CCD 工业相机型号为 SONY ZS-2073,该相机检测灵敏度高而且线性特性曲线比较理想。

试验结果见表 2。

试验结果表明,文中所述纠偏控制系统的可将纠偏误差控制在 ± 0.5 mm 内,实际偏移量最大值仅为 0.4 mm,平均误差只有 0.19 mm。说明该控制系统可以有效地提高系统纠偏精度,能较为理想地满足鲜切蔬菜包装工艺要求。

表2 试验结果
Tab.2 Experimental results

序号	偏移量设定值/mm	偏移量实际值/mm	绝对误差/mm	相对误差/%
1	10	10.2	0.2	2
2	10	9.9	0.1	1
3	10	9.8	0.2	2
4	10	10.4	0.4	4
5	10	10.1	0.1	1
6	10	10.2	0.2	2
7	10	9.7	0.3	3
8	10	10.2	0.2	2
9	10	9.9	0.1	1
10	10	10.1	0.1	1
最大值			0.4	4
平均值			0.19	1.9

4 结语

以鲜切蔬菜包装为研究对象,重点讨论包装薄膜跑偏问题。在分析了包装过程中薄膜跑偏的原因同时,论述了纠偏原理。认为采用机器视觉可以提高纠偏响应速度和精度。结合前馈控制和模糊控制设计了一种纠偏控制器。试验结果表明,所述控制系统纠偏精度较高,能够较好地满足包装工艺要求。所述纠偏控制器对包装袋材纠偏具有一定的借鉴意义,值得推广应用。

参考文献:

- [1] 韩凌, 陆荣鑑. 制袋机的检测与控制技术发展概述[J]. 包装工程, 2010, 31(11): 135—139.
HAN Ling, LU Rong-jian. Profile of Bag-making Machine Detection and Development of Control Technique[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(11): 135—139.
- [2] 侯立功, 陈天娥, 史荧中. 基于模糊控制的包装膜自动纠偏系统设计[J]. 包装工程, 2018, 39(15): 130—134.
HOU Li-gong, CHEN Tian-e, SHI Ying-zhong. Design of Automatic Correction System for Packaging Films Based on Fuzzy Control[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(15): 130—134.
- [3] 唐宗美, 杨光友, 马志艳, 等. 包装设备控制系统综述[J]. 包装工程, 2013, 34(3): 107—110.
TANG Zong-mei, YANG Guang-you, MA Zhi-yan, et al. Summarization of Packaging Equipment Control System[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(3): 107—110.
- [4] 陈德传, 彭庆海. 基于重复控制的织物类带材新型纠偏系统[J]. 纺织学报, 2010, 31(6): 134—138.
CHEN De-chuan, PENG Qing-hai. Advanced Deviation Correcting System of Fabric Strips Based on Repetitive Control[J]. Journal of Textile Research, 2010, 31(6): 134—138.
- [5] 周继彦, 余正泓. 基于图像处理的柔性材料自适应纠偏系统设计[J]. 包装工程, 2017, 38(13): 189—194.
ZHOU Ji-yan, YU Zheng-hong. Design of Adaptive Rectification System of Flexible Material Based on Image Processing [J]. Packaging Engineering, 2017, 38(13): 189—194.
- [6] 钟飞, 吴雪茹. 基于线阵 CCD 的自动纠偏控制系统设计[J]. 包装学报, 2011, 3(2): 14—16.
ZHONG Fei, WU Xue-ru. Research on Automatic Deviation System Based on Linear CCD[J]. Packaging Journal, 2011, 3(2): 14—16.
- [7] 胡汪洋, 曹成茂, 吴正敏, 等. 小袋山核桃仁包装机袋膜纠偏模糊控制系统设计[J]. 食品与机械, 2017, 33(8): 59—65.
HU Wang-yang, CAO Cheng-mao, WU Zheng-min, et al. Design of the Rectifying Fuzzy Control System of the Bag Film of Pouch Pecan Kernel Packaging Machine[J]. Food & Machinery, 2017, 33(8): 59—65.
- [8] 奉泽昊, 徐杜, 蒋永平, 等. 基于 CIS & CPLD 的光电纠偏控制系统的设计[J]. 计算机系统应用, 2008(9): 122—124.
FENG Ze-hao, XU Du, JIANG Yong-ping, et al. An Opto-electronic Correction Control System Based on CIS and CPLD[J]. Computer System and Its Application, 2008(9): 122—124.
- [9] 陈耀欢, 任德均, 邓霖杰, 等. 基于机器视觉的纠偏

- 检测系统[J]. 机电工程技术, 2014, 43(11): 86—88.
CHEN Yao-huan, REN De-jun, DENG Lin-jie, et al. System of Deviation Detector Based on Machine Vision[J]. M & E Engineering Technology, 2014, 43(11): 86—88.
- [10] 孙智娟. 自动纠偏控制系统的设计与开发[J]. 机械工程与自动化, 2010(4): 138—140.
SUN Zhi-juan. Design of Automatic Correct Offset Control System[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2010(4): 138—140.
- [11] 尹亮, 宫文宁. 模糊自适应 PID 控制算法分析[J]. 变频器世界, 2011(9): 86—88.
YIN Liang, GONG Wen-ning. Analysis of Fuzzy Adaptive PID Control Algorithm[J]. The World of Inverters, 2011(9): 86—88.
- [12] 蔡友发, 郑惠群. 高精度超声波纠偏控制系统的设计[J]. 工业仪表与自动化装, 2007(5): 66—70.
CAI You-fa, ZHENG Hui-qun. The Design of a High Accuracy Ultrasonic Web Guide Control System[J]. Industrial Instrumentation & Automation, 2007(5): 66—70.
- [13] 蔡锦达, 刘劲阳, 杨宝山. 基于自适应模糊 PID 飞剪式冲切控制研究[J]. 控制工程, 2016, 23(5): 693—697.
CAI Jin-da, LIU Jin-yang, YANG Bao-shan. Flying Shear Punching Machine Based on Adaptive Fuzzy PID Control Algorithm[J]. Control Engineering of China, 2016, 23(5): 693—697.
- [14] 陆兵, 束梅玲. 基于机器视觉的软包装边缘测量及纠偏系统[J]. 计算机测量与控制, 2014, 22(7): 2005—2013.
LU Bing, SU Mei-ling. Soft Package Edge Measurement and Correction System Based on Machine Vision[J]. Computer Measurement & Control, 2014, 22(7): 2005—2013.
- [15] 阎龙, 江伟, 史耀耀. 复合材料布带缠绕纠偏控制系统设计[J]. 宇航学报, 2012, 33(8): 1171—1176.
YAN Long, JIANG Wei, SHI Yao-yao. Design of the Rectification Control System for Composites Tape Winding[J]. Journal of Astronautics, 2012, 33(8): 1171—1176.