

# 基于 ABB 机器人的双追踪传送包装设计

陈永平, 王凯凯

(上海电子信息职业技术学院, 上海 201411)

**摘要:** **目的** 为提高物流、包装等行业物料包装的效率, 设计基于 ABB 并联机器人的物料和包装盒传送带的包装系统, 实现物料的动态拾取及放置。**方法** 在系统中, 建立传送带基坐标和物料移动工件坐标, 当物料进入追踪队列后, 被链接上物料移动工件坐标, DSQC377B 追踪模块对物料的位置信息进行记录, 机器人根据 DSQC377B 追踪模块反馈的信息, 实现物料和包装盒的动态追踪。**结果** 通过实验验证, 该系统可以实现物料和包装盒的生产线的动态追踪, 机器人平均拾取放置速度可达到每分钟 60 个, 拾取传送带漏抓率小于 0.2%, 产品盒放置率达到 100%。**结论** 该系统大大提高了物料包装的效率, 降低了成本, 并具有较高的稳定性和准确性, 可满足工业实际要求。

**关键词:** 并联机器人; 动态追踪; 分拣包装; DSQC377B 追踪板

**中图分类号:** TB486; TP242.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)01-0116-07

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.01.018

## Design of Double Transmission Tracking Packaging System Based on ABB Robot

CHEN Yong-ping, WANG Kai-kai

(Shanghai Technical Institute of Electronics & Information, Shanghai 201411, China)

**ABSTRACT:** The paper aims to design a packaging system based on ABB parallel robot to realize the dynamic pick-up and placement of materials, so as to improve the efficiency of material packaging in logistics, packaging and other industries. In the system, the base coordinates of conveyor belt and the moving workpiece coordinates of material were established. When the material entered the tracking queue, the moving workpiece coordinates of material were linked. The position information of material was recorded by the DSQC377B tracking module, and the dynamic tracking of material and packaging box was realized by the robot according to the feedback information of the DSQC377B tracking module. Experiments showed that the system can realize dynamic tracking of the production line of materials and packaging boxes. The average pickup and placement speed of the robot can reach 60 pieces in one minute. The leak rate of pickup conveyor belts was less than 0.2%, and the placement rate of product boxes was 100%. The system greatly improves the efficiency of material packaging, reduces the cost, and has high stability and accuracy, which can meet the actual requirements of industry.

**KEY WORDS:** parallel robot; dynamic tracking; sorting and packaging; DSQC377B tracking board

分拣包装作业是流水线上不可或缺的一环<sup>[1]</sup>, 随着经济发展和制造业竞争的加剧, 人工包装产品的弊端日益显露, 人工包装不仅速度慢, 影响效益, 且长

时间的单调工作容易使工人疲劳, 引发人身安全隐患<sup>[2-3]</sup>。将并联机器人、运动控制、机器视觉等先进技术应用到食品生产行业, 搭建自动分拣包装系统,

收稿日期: 2019-02-09

基金项目: 上海市高校青年教师培养资助计划 (B16508)

作者简介: 陈永平 (1977—), 男, 硕士, 讲师, 主要研究方向为工业机器人技术应用。

已成为一种趋势<sup>[4-5]</sup>。并联机器人具有质量轻、体积小、速度快、定位精、成本低、效率高等特点<sup>[6]</sup>，在物料包装分拣等方面有着无可比拟的优势，同时还可以保障分拣质量与工作卫生。

物料分拣包装常用的 2 种方法：静态拾取包装，即机器人将运送至固定工位的物料拾取搬运至固定的包装盒位置；动态追踪拾取包装，即抓取传送带上运动的物料将其搬运至包装位置。目前常用的动态追踪方法主要以视觉图像<sup>[7-11]</sup>进行识别，通过视觉识别算法运算<sup>[12-15]</sup>识别物料，确定位置。文中研究的动态追踪方法是一种直线追踪定位方法，该方法基于 ABB 机器人的 DSQC377B 追踪模块，物料和产品盒经定向整理后，在传送带上动态传送，机器人根据 DSQC377B 追踪模块反馈的信息实现物料和产品盒的动态追踪，动态地从传送带上拾取物料并放置在动态运行的产品盒中。

### 1 双追踪传送包装系统总体设计

直线追踪传送系统见图 1，主要包括 ABB 机器人、机器人控制柜、DSQC377B 追踪板、编码器和同步开关等。

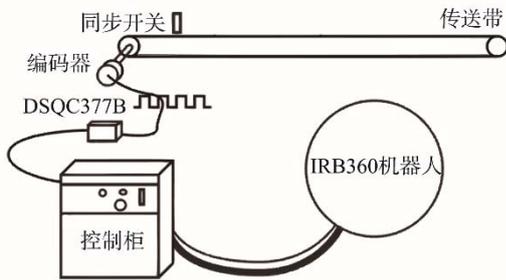


图 1 追踪传送带组成  
Fig.1 Composition of tracking conveyor belt

编码器用于同步传送带的运动，同步开关数字输入信号作为传送带的同步点。DSQC377B 是 ABB 机器人的追踪模块，编码器和同步开关均接在 DSQC377B 模块上，DSQC377B 通过 DeviceNet 总线<sup>[16]</sup>连接到机器人控制系统中，将编码器和同步开关的信号反馈给机器人。

#### 1.1 追踪系统传送带坐标系设计

追踪传送系统坐标系设计见图 2，包含世界坐标 (A)、机器人基坐标 (B)、传送带基坐标 (C) 和移动工件坐标 (D)，其中传送带基坐标和移动工件坐标是追踪系统中最关键的 2 个坐标系。对进入追踪队列的运动物料建立移动工件坐标，机器人拾取物料时，机器人的工具 TCP 的移动参考对象为移动工件坐标。当物料经过同步开关后移动至标定位置 (0.0

m) 时，移动工件坐标系与传送带的基坐标系一致，当传送带移动时，移动工件坐标系沿着传送带基坐标系的 x 轴移动。

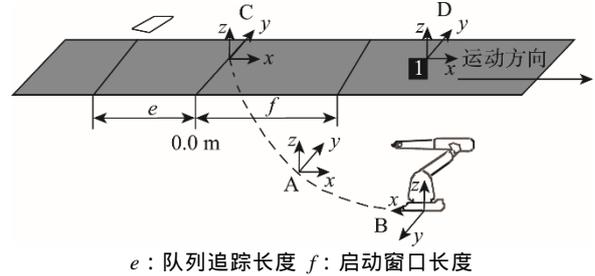


图 2 追踪坐标系设计  
Fig.2 Design of tracking coordinate system

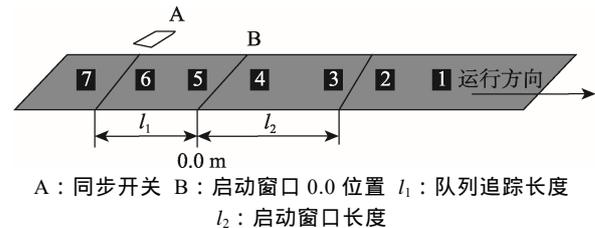
物料在移动工件坐标系中固定的位置为  $(x_D, y_D, z_D)$ ，在传送带基坐标系和世界坐标系中的位置分别为  $(x_C, y_C, z_C)$  和  $(x_A, y_A, z_A)$ 。在被传送过程中，其相对于传送带基坐标系 (C) 和世界坐标的位置关系，可通过坐标轴的平移和旋转变换成为一致，坐标间的转换关系为：

$$\begin{bmatrix} x_C \\ y_C \\ z_C \end{bmatrix} = \lambda R \begin{bmatrix} x_D \\ y_D \\ z_D \end{bmatrix} + T_{DC} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix} = \lambda R \begin{bmatrix} X_C \\ Y_C \\ Z_C \end{bmatrix} + T_{CA} \quad (2)$$

#### 1.2 传送带直线追踪过程

物料经定向整理后被输送到传送带上，物料之间间距可以为任意值，每个物料经过传送带上的同步开关后，传送带跟踪板卡就接收到一次有效的上升沿脉冲，控制器将当前对应的物料作为跟踪对象加入追踪队列中，并且记录当前的脉冲数值。随后，该物料进入启动窗口，如果当前机器人空闲，则机器人立即处理启动窗口中的物料，如果机器人正在工作中，则等待机器人完成工作后处理启动窗口中最前面的物料，已经离开启动窗口的物料将不会被处理。没有被处理的物料就是漏检，直线追踪漏检率的大小与生产节拍、机器人的运行速度和传送带的运行速度相关。



A：同步开关 B：启动窗口 0.0 位置  $l_1$ ：队列追踪长度  
 $l_2$ ：启动窗口长度

图 3 物料追踪过程  
Fig.3 Material tracking process

物料 1—7 在传送带上的传送状态见图 3。如果

物料 1 为机器人正在处理的物料,物料 2 已位于启动窗口之外。在物料 1 被处理完成后,物料 2 将不会被处理。物料 3 和 4 位于启动窗口中,物料 1 被处理完成后,若物料 3 仍在启动窗口,则物料 3 被处理。物料 5 和 6 通过同步传感器后已进入追踪队列,尚未进入启动窗口。物料 7 未经过同步开关,还未被追踪。

机器人的动态抓取通过 DSQC377B 获得传送带的物料位置,并经过式(1)和(2)的运算获得物料的实时位置 $'P$ ,该位置即为机器人 TCP 的目标位置。利用机器人编码器可采集机器人关节信息,得到机器人末端实时位置为 $'PR$ ,可表示为 $'P+\Delta l+vt$ , $l$ 为传送带上物料的移动距离。机器人 TCP 位置误差可表示为:

$$e(t) = 'P + \Delta l + vt - 'PR = 'P - 'PR + b(t) - b(0) \quad (3)$$

式中: $b(t)$ 和 $b(0)$ 为2次采样时刻机器人编码器的数值。由于追踪过程中仅有物料的位置变化,因此式(3)TCP的控制位置可分解为:

$$\begin{cases} e_x(t) = x_2 - x_1 + [b(t) - b(0)] \sin \theta \cos \gamma \\ e_y(t) = y_2 - y_1 + [b(t) - b(0)] \cos \theta \cos \gamma \\ e_z(t) = z_2 - z_1 + [b(t) - b(0)] \sin \gamma \end{cases} \quad (4)$$

式中: $(x_1, y_1, z_1)$ 和 $(x_2, y_2, z_2)$ 分别为2次采样时刻机器人 TCP 的位置分量; $\gamma$ 为传送带和 $xy$ 平面之间夹角; $\theta$ 为传送带和 $x$ 轴之间夹角。

## 2 系统硬件设计

### 2.1 包装工作站硬件设计

包装工作站见图4,主要包括 IRB360 并联机器人、围栏、末端真空吸盘、物料追踪传送带、包装盒追踪传送带等。包装工作站工艺要求为:IRB360 并联机器人从传送带上动态拾取物料,并按照顺序将物

料摆放至包装盒传送带上的包装盒中,然后由传送带传送至下一工位。物料传送带和包装盒传送带均连续运行。

### 2.2 控制部分设计

#### 2.2.1 通信方案设计

机器人与 DSQC377B 模块间采用 ABB 机器人的标准 DeviceNet 总线通信。DSQC377B 模块的 DeviceNet 总线接口见图5,用于设定 DeviceNet 总线地址和信号线连接,1—5 端口用于电源和信号传输,使用定义分别为:OV BLACK(黑色)、CAN 信号线 low BLUE(蓝色)、屏蔽线、CAN 信号线 high WHITE(白色)、24V RED(红色),6—12 端口用于 DeviceNet 地址设置,使用定义分别为:GND 地址选择公共端、模块 ID bit0(LSB)、模块 ID bit1(LSB)、模块 ID bit2(LSB)、模块 ID bit3(LSB)、模块 ID bit4(LSB)、模块 ID bit5(LSB)。系统中配置了2块 DSQC377B 模块,分别用于物料传送带和产品盒传送带的追踪。物料传送带的 DSQC377B 地址设置为 10,产品盒传送带 DSQC377B 地址设定为 11。

#### 2.2.2 编码器校准

##### 2.2.2.1 编码器正方向校准

编码器和同步开关连接好以后,首先需要校准2个传送带编码器的正方向,校准方法:在传送带上放置一个物料,之后运行传送带,使物料通过同步开关,然后观察 ABB 机器人示教器中传送带(CNV1 和 CNV2)的数值。如果观察到数值是正值,则表明编码器 A 相、B 相连接正确,如果是负值,则需要在 DSQC377B 板上将编码器的 A 相、B 相调换。

##### 2.2.2.2 跟踪参数 CountsPerMeter 校准

跟踪参数 CountsPerMeter 表示的是当传送带运行 1 m,跟踪板实际采集到的计数信号个数,与系统

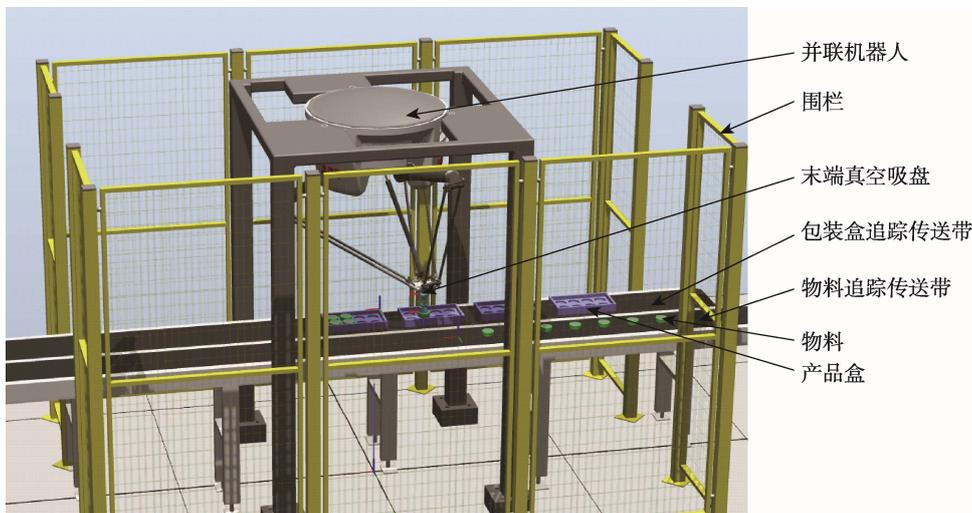


图4 机器人包装工作站  
Fig.4 Robot packaging workstation

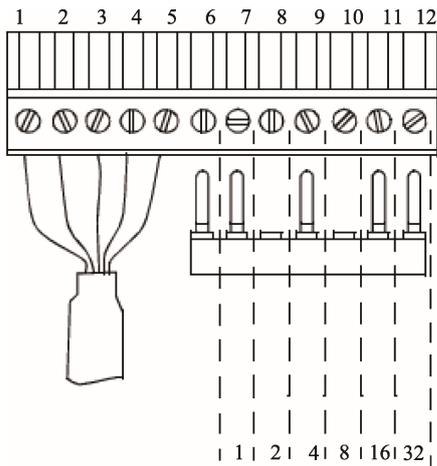


图 5 物料传送带的 DSQC377B 地址设置

Fig.5 DSQC377B address setting of material conveyor belt

的机械结构有关，需要校准。以校准物料传送带 (CNV1) 为例，机器人系统中预定义此参数为 10 000，运行 CNV1 传送带，将物料通过同步开关并停止传送带，从 CNV1 的“手动操纵”窗口读取传送带位置 Position<sub>1</sub>，移动传送带至少 1 m 并再次读取位置 Position<sub>2</sub>。测量传送带运行的实际距离 measuredmeters，使用式 (5) 计算 CountsPermeter 参数，多次测量取平均值得到的数值更精确。产品盒传送带的 CountsPermeter 参数设置方法相同。

$$\text{CountsPermeter} = \frac{(\text{Position}_2 - \text{Position}_1)10000}{\text{measuredmeters}} \quad (5)$$

### 2.2.2.3 QueueTrckDist 参数校准

QueueTrckDist 定义的是传送带 0.0 m 位置与同步开关之间的距离，如图 3 中的  $l_1$ 。QueueTrckDist 参数设置后追踪启动窗口与同步开关的距离即确定。分别设置物料传送带和产品盒传送带的 QueueTrckDist 参数。

### 2.2.3 传送带校准

工件移动坐标系的建立是直线传送带追踪的关键，在 ABB 机器人 wobjdata 窗口中，新建一个物料传送带移动工件坐标系 wobj\_cnv1。采用 4 点法校准传送带基坐标，记录物料通过同步开关和 0.0 m 位置后的 4 点，见图 6。

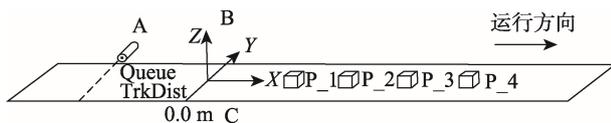


图 6 传送带基坐标校准

Fig.6 Calibration of base coordinates of conveyor belt

具体校准步骤如下所述。

1) 建立如下校准程序，激活传送带后等待建立移动工件坐标，该程序需单步运行。

```
ActUnit CNV1;
```

```
WaitWobjwobj_cnv1;
```

2) 在传送带上放置一个物料，运行传送带，直至物料通过同步传感器和 0.0 m 位置，在机器人可达范围内停止传送带。

3) 在 ABB 机器人示教器校准菜单中，选中该传送带，点击“基座”，选择“四点法”。

4) 机器人 TCP 移至第 1 点，记录该位置。

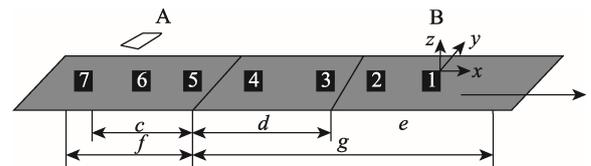
5) 再次运行传送带，依次记录 2, 3, 4 点等 3 个位置。

机器人计算后，实现传送带校准。为提高校准精度，可先将带有尖端的专门用于校准用的工具，安装到机器人上进行校准，校准完成后再更换回实际工具。

产品盒传送带的校准方法与物料传送带相同。

### 2.2.4 传送带参数设置

需要设置的传送带参数有 SyncSeparation, StartWinWidth, max dist, min dist, adjustment speed, 见图 7。



A:同步开关 B:移动式工件坐标 c:最小距离(minimum distance) d:启动窗口长度(StartWinWidth) E:工作区域 f:队列追踪长度(QueueTrkDist) g:最大距离(maximum distance)

图 7 追踪参数

Fig.7 Tracking parameters

SyncSeparation 为同步间隔距离，该距离为物料进入同步开关产生同步信号需要与前一个物料保持的最小距离，如小于该距离，物料将被忽略。

StarWinWidth 为启动窗口宽度，只有在该窗口内，移动工件坐标才能连接在窗口的第 1 个物料上，是物料能够被处理的窗口。

max dist 为最大间距，是机器人处理的最大工作区域。min dist 为最小间距，是传送带反向运行机器人能处理的最小距离。adjustment speed 是机器人追踪传送带的速度，该速度设置为传送带的 100%~130%。

据物料传送带和产品盒传送带的情况，在机器人控制器的“DeviceNet Command”中设置 2 个传送带的参数。

## 3 系统软件设计

### 3.1 传送带追踪指令

传送带追踪编程中用到的 ABB 机器人追踪指令共有 4 个，分别为：ActUnit(接通与传送带的连接)

DeactUnit (断开与传送带的连接) WaitWobj (等待传送带上的物料) DropWobj (断开传送带上的物料)

机器人追踪程序编写,主要包含机器人与传送带相连接、等待传送带上的物料、机器人对传送带上物料进行工艺处理、断开传送带上物料、机器人与传送带断开。

### 3.2 双追踪包装机器人程序编写

双追踪机器人控制工艺流程见图8。rInitAll为初始化程序,rPick为从物料传送带上拾取物料程序,rPostion为放置位置程序,rPlace为放置物料至产品盒中的程序,rHome为机器人回原位程序。

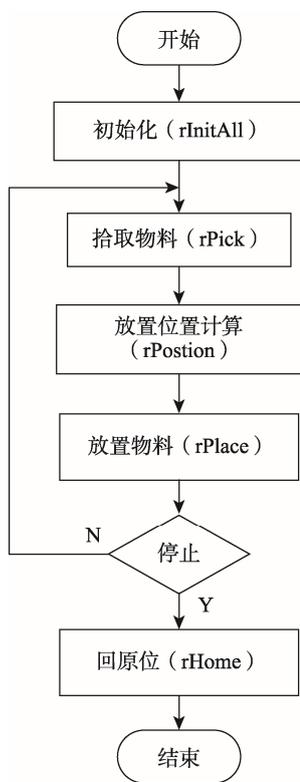


图8 机器人包装程序流程  
Fig.8 Robot packaging program flow chart

在初始化程序中用 ActUnit 激活 2 条传送带。编写拾取产品子程序,程序如下(其中 CNV1 为物料传送带,wobj\_cnv1 为物料传送带移动工件坐标系,tVacuum 为吸盘工具坐标)。

```

PROC rPick()
  WaitWObj wobj_cnv1\RelDist:=50;
  MoveL
  Offs(pPick,0,0,80),vMaxEmpty,z20,tVacuum\WObj:=wobj_cnv1;
  TriggL
  pPick,vMinEmpty,VacuumOn,z0\Inpos:=stoppointPick,
  tVacuum\WObj:=wobj_cnv1;
  IF nCounter>8 THEN
    DropWObj wobj_cnv2;
  
```

```

nCounter:=1;
ENDIF
GripLoad LoadFull;
MoveL Offs(pPick,0,0,80),vMinLoad,z20,tVacuum\
WObj:=wobj_cnv1;
ENDPROC
  
```

动态追踪编程过程中,因工件是运动的,所以必须进行动态示教。上述程序中的 pPick 拾取点须进行动态示教。动态示教方法为:示教时,确认机器人当前工具坐标为 tVacuum,工件坐标为 wobj\_cnv1 移动工件坐标系,操作示教器使传送带运动,当机器人连接一个物料,确认连接后,停止传送带,移动机器人至物料拾取位置,并对 pPick 位置进行示教,见图9。

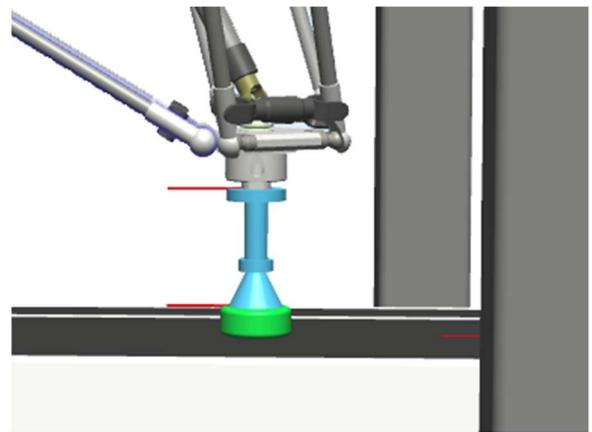


图9 pPick 位置示教  
Fig.9 Location teaching of pPick

编写放置物料子程序的方法同拾取物料方法相似,动态示教 1 个放置位置 pPlace,其余 7 个位置采用 offs 指令动态偏移。

### 4 实验验证

利用该双追踪方法,设计了一套基于 ABB 机器人的传送包装系统。根据生产节拍要求,需要对机器人运动拾取速度、放置速度、物料传送带速度和包装盒传送带速度进行优化。如果物料传送带运行速度低,则来料少,机器人在拾取时需要等待;如果物料传送带运行速度高,则来料快,机器人来不及拾取,漏检率高。同样,如果包装盒传送带速度慢,机器人在放置时需要等待;如果包装盒传送带速度快,机器人来不及放置,放置率低。

调节后,利用 RobotStudio 软件对机器人工具末端 TCP 速度进行监控,见图 10,平均拾取放置速度达到每分钟 60 个,拾取传送带漏抓率小于 0.2%,产品盒放置率达到 100%。机器人在拾取和放置过程中空闲时间较少,可以较高效率完成拾取包装任务。

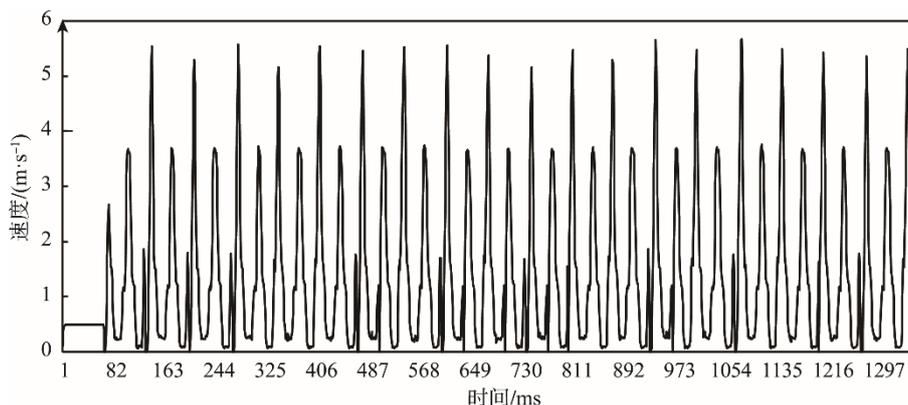


图 10 机器人工具末端速度监控

Fig.10 Velocity monitoring of robot TCP

## 5 结语

ABBIRB360 并机器人配合 2 个 DSQC377B 追踪模块,可以轻松实现直线传送带的动态拾取及包装,使传送带能够连续运转,大大提高了物料包装的效率。与视觉追踪相比,通过使用同步开关和编码器对整齐排列后的物料进行位置确定,大大降低了成本;另一方面,不需要进行视觉算法的设计,具有简单、易操作的特点。该方法可在物流、包装等行业中广泛应用,对于生产节拍要求高,单台机器人会出现无法满足节拍要求、拾取漏检率高的情况,可以通过增加分拣并联机器人协同工作,以满足生产率的要求。

### 参考文献:

- [1] 付瑞玲, 禹春来, 范甜甜. 基于并联机器人的包装分拣系统设计[J]. 包装工程, 2018, 39(11): 204—208.  
FU Rui-ling, YU Chun-lai, FAN Tian-tian. Design of Packaging and Sorting System Based on Parallel Robot[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(11): 204—208.
- [2] 宋婷婷, 徐世许, 伍经纹, 等. Delta 机器人传送带控制系统研究[J]. 软件, 2017, 38(5): 121—124.  
SONG Ting-ting, XU Shi-xu, WU Jing-wen, et al. Delta Robot Conveyor Control System Research[J]. Software, 2017, 38(5): 121—124.
- [3] 焦恩璋, 杜荣. 工业机器人分拣技术的实现[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2010(2): 84—87.  
JIAO En-zhang, DU Rong. Realization of Sorting Technology on Industrial Robot[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2010(2): 84—87.
- [4] 刘东海, 许剑新, 方艳. 基于 IRB360 工业机器人的果蔬分拣系统设计[J]. 产业与科技论坛, 2018, 17(5): 83—84.  
LIU Dong-hai, XU Jian-xin, FANG Yan. Design of Fruit and Vegetable Sorting System Based on IRB360 Industrial Robot[J]. Industrial & Science Tribune, 2018, 17(5): 83—84.
- [5] 王诗宇, 林浒, 孙一兰, 等. 基于机器视觉的机器人分拣系统的设计与实现[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2017(3): 125—129.  
WANG Shi-yu, LIN Hu, SUN Yi-lan, et al. The Research of Industrial Robots Sorting Technology Based on Robot Vision[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2017(3): 125—129.
- [6] 邓明星, 刘冠峰, 张国英. 基于 Delta 并联机器人的传送带动态跟踪[J]. 机械工程与自动化, 2015(1): 152—154.  
DENG Ming-xing, LIU Guan-feng, ZHANG Guo-ying. Dynamic Conveyor Tracking for Delta Robot[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2015(1): 152—154.
- [7] 顾六平, 姚庆文. 基于机器视觉的纽扣电池托盘分拣系统[J]. 包装工程, 2018, 39(15): 178—182.  
GU Liu-ping, YAO Qing-wen. Sorting System of Button Cell Tray Based on Machine Vision[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(15): 178—182.
- [8] 李姿景. 基于机器视觉的药品包装生产线自动检测系统[J]. 包装工程, 2018, 39(17): 165—169.  
LI Zi-jing. Automatic Detection System for Drug Packaging Line Based on Machine Vision[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(17): 165—169.
- [9] 张德红, 代艳霞. 机器人视觉搬运系统构建与软件开发[J]. 包装工程, 2019, 40(1): 149—155.  
ZHANG De-hong, DAI Yan-xia. Construction of Robot Vision Handling System and Software Development[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(1): 149—155.
- [10] 黄洪涛, 关建军. 基于机器视觉的煤炭自动识别分拣系统研究[J]. 电子设计工程, 2017, 25(14): 162—166.  
HUANG Hong-tao, GUAN Jian-jun. Research on Automatic Coal Recognition and Sorting System Based on Machine Vision[J]. Electronic Design Engineer, 2017, 25(14): 162—166.
- [11] 杜恩明, 张仁朝. 基于机器视觉的自动分拣码放系统研究[J]. 包装工程, 2018, 39(15): 194—198.  
DU En-ming, ZHANG Ren-chao. Automatic Sorting

- and Stacking System Based on Machine Vision[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(15): 194—198.
- [12] 蔡菲, 郭倩. 基于动态抓取算法的机器人分拣研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2018(8): 10—13.  
CAI Fei, GUO Qian. Design of High Speed Sorting System for Delta Manipulator Based on Visual Guidance[J]. Automation and Instrumentation, 2018(8): 10—13.
- [13] WANG Chun-peng, WANG Xing-yuan, ZHANG Chuan. Geometric Correction Based Color Image Watermarking Using Fuzzy Least Squares Support Vector Machine and Bessel K Form Distribution[J]. Signal Processing, 2017, 134(12): 197—208.
- [14] ZHOU Xiao, ZHANG Heng, WANG Cheng-you. A Robust Image Watermarking Technique Based on DWT, APDCBT, and SVD[J]. Symmetry, 2018, 10(3): 77—86.
- [15] 左悦. 基于视觉内容分析和遗传算法优化的鲁棒图像水印算法[J]. 包装工程, 2019, 40(1): 209—217.  
ZUO Yue. Robust Image Watermarking Algorithm Based on Visual Content Analysis and Genetic Algorithm Optimization[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(1): 209—217.
- [16] 陈永平. 基于 CC-Link 总线的 ABB 机器人控制方法研究[J]. 制造业自动化, 2019, 41(1): 36—39.  
CHEN Yong-ping. Research on the Control Method of ABB Robot Based on CC-Link Fieldbus[J]. Manufacturing Automation, 2019, 41(1): 36—39.