

# 基于变增益模糊 PID 控制的移动机器人轨迹跟踪

赵会超, 师五喜

(天津工业大学 电气工程与自动化学院, 天津 300387)

**摘要:**该文对轮式移动机器人提出了一种基于变增益的模糊PID轨迹跟踪控制方法。首先将常规PID分为PI和PD的组合,再把PID的输出转化为误差和误差变化率之和,然后设计增益随误差变化的自适应调节律,使得移动机器人跟踪期望的运动轨迹。最后通过实验验证了所提方法的有效性。

**关键词:**轮式移动机器人;轨迹跟踪;模糊PID控制;变增益

**中图分类号:**TP242

**文献标志码:**A

**文章编号:**1001-9944(2020)02-0032-05

## Trajectory Tracking of Mobile Robot Based on Variable Gain Fuzzy PID Control

ZHAO Hui-chao, SHI Wu-xi

(College of Electrical Engineering and Automation, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China)

**Abstract:** In this paper, a control method based on variable gain fuzzy PID is proposed for the wheeled mobile robot. Firstly, the conventional PID is divided into a combination of PI and PD, and then the output of the PID is converted into the sum of error and error rate. The gain of the designed fuzzy controller is adaptively adjusted with the error, so that the mobile robot tracks the desired motion trajectory. Finally, the experiment results show the effectiveness of the proposed control method.

**Key words:** wheeled mobile robot; trajectory tracking; fuzzy PID control; variable gain

轮式移动机器人是一种典型的非完整性系统,具有广泛的应用前景。机器人领域的变化趋势由在生产线上固定的机械手向能做更复杂任务的自主移动机器人过渡,比如救援、军事行动以及日常生活服务等。移动机器人控制的一个主要问题是轨迹跟踪控制,然而描述轨迹跟踪的跟踪误差系统往往是一个耦合非线性系统,使得该问题的解决变得复杂。在实际应用中,需要充分考虑移动机器人的模型不确定性等问题。目前移动机器人轨迹跟踪的方法主要有智能控制方法<sup>[1-3]</sup>、反步控制方法<sup>[4-5]</sup>、滑模控制方法<sup>[6-10]</sup>、自适应控制方法<sup>[11-14]</sup>等。文献[1]采用了基于模糊神经网络的控制方法,保证机器人对参考轨迹的实际跟踪,文献[2]在文献[1]的基础上提出了

一种运动学控制器与自适应动态递归模糊神经滑模控制器相结合的控制结构,使不确定性估计误差有效减小,但以上控制器的设计比较复杂,在实际应用中不宜实现。文献[4]提出一种基于扰动补偿的反演控制方法,有效抑制了在外扰动下轮式移动机器人轨迹跟踪容易出现速度跳变的问题。文献[9]提出一种基于滑模控制的移动机器人轨迹跟踪控制方法,然而滑模控制中由于惯性、滞后等因素,不可避免地存在抖振现象,文献[10]在文献[9]基础上引入新型加权增益趋近律,在积分项中引入负的加权值,减少滑模控制固有的抖振问题,但改进的滑模控制方法影响了系统的鲁棒性且无法完全解决抖振问题。文献[12]针对纵向滑动参数未知的轮式

收稿日期:2019-10-28;修订日期:2019-12-12

作者简介:赵会超(1993—),男,硕士,研究方向为智能控制。

移动机器人的轨迹跟踪问题,提出一种自适应跟踪控制策略,利用两个未知参数来描述移动机器人左右轮的纵向打滑程度,建立了产生纵向滑动的差分驱动轮式移动机器人的运动学模型。文献[13]针对机器人轨迹跟踪控制品质受到参数不确定性影响的问题,设计了一种自适应非光滑控制,但该方法不适用于传统的稳定性分析和设计工具。文献[15]基于动力学模型设计了模糊 PD 控制器,实现了机器人跟踪控制,文献[16]在文献[15]的基础上,将模糊 PI 控制器和模糊 ID 控制器结合,提高了控制精度。但文献[16]提出的二维 PID 模糊控制器的结构复杂,模糊控制方法实时性不高。

本文提出了一种变增益的模糊 PID 控制方法,将常规 PID 分为 PI 和 PD 的组合,控制器的输出可以转化为误差和误差变化率的和,然后设计模糊控制器的增益,该增益根据误差的变化自适应调节,最终实现移动机器人的轨迹跟踪。本文方法优化了控制器的输出,结构简单,控制精度高,实验结果验证了所提算法的有效性。

## 1 系统模型

### 1.1 移动机器人的运动学模型

本文研究的机器人结构如图 1 所示。图中  $OXY$  为全局平面坐标系,表示移动机器人在空间平面的位置。 $O_c X_c Y_c$  为机器人局部坐标系, $O_c$  表示机器人的几何中心, $v$  为机器人前进线速度,方向垂直于机器人轮轴, $w$  为机器人角速度, $\theta$  为机器人运动方向与  $X$  轴夹角, $P$  表示机器人质心位置,图中  $2b$  表示机器人两车轮之间的距离, $2r$  为车轮直径, $O_c$  与  $p$  之间的距离记为  $d$ 。

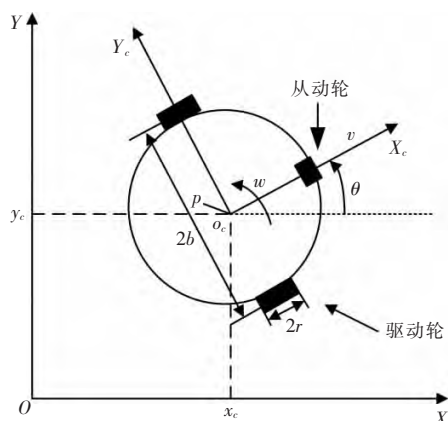


图 1 轮式移动机器人模型

Fig.1 Wheeled mobile robot model

假设移动机器人在理想条件下运动,即满足机器人纯滚动无滑动条件时,移动机器人运动时满足公式:

$$\dot{y}\cos\theta - \dot{x}\sin\theta = 0 \quad (1)$$

引入机器人运动学模型控制量  $z$ ,将移动机器人模型表示如下<sup>[17]</sup>:

$$\dot{q} = S(q) \cdot z \quad (2)$$

$$\text{其中 } S(q) = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 \\ \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, z = [v \ w]^T, \text{ 则将移动机器人}$$

运动学方程表示如下:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 \\ \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v \\ w \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中:  $(x, y, \theta)$  为移动机器人实际位姿。

### 1.2 移动机器人的动力学模型

移动机器人系统动力学模型表示为<sup>[18-19]</sup>

$$M(q)\ddot{q} + V(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) + \tau_d = E_q \tau \quad (4)$$

式中:  $M(q)$  为系统惯性矩阵;  $V(q, \dot{q})$  为与位置和速度有关的哥特力和离心力矩阵,  $V(q) = 0$ ;  $G(q)$  为重心力矢量,由于机器人在路面运动,则  $G(q) = 0$ ;  $\tau_d$  为未知扰动,  $\tau_d = 0$ ;  $\tau = [\tau_1 \ \tau_2]^T$  为移动机器人两驱动轮电机力矩;  $E_q$  为输入变换矩阵。  $M(q)$ ,  $E_q$  表示如下:

$$M(q) = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix}; E(q) = \frac{1}{r} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos\theta \\ \sin\theta & \sin\theta \\ 2b & -2b \end{bmatrix}$$

式中:  $m$  为机器人的质量;  $I$  为机器人的总转动惯量。移动机器人动力学模型控制输入为机器人驱动轮力矩  $\tau = [\tau_1 \ \tau_2]^T$ , 状态向量  $q = [x \ y \ \theta]^T$ 。

## 2 移动机器人轨迹跟踪控制器设计

本文先基于移动机器人运动学模型,设计辅助运动控制律,然后将移动机器人的线速度和角速度的辅助速度作为输入,基于动力学模型设计模糊 PID 控制算法,使移动机器人的实际速度渐近收敛到辅助速度,最终实现移动机器人的轨迹跟踪。

### 2.1 移动机器人运动控制律设计

假设移动机器人参考轨迹如下:

$$\begin{cases} \dot{x}_r = v_r \cos \theta_r \\ \dot{y}_r = v_r \sin \theta_r \\ \dot{\theta}_r = w_r \end{cases} \quad (5)$$

式中:  $v_r$  为移动机器人期望线速度;  $w_r$  为期望角速度;  $(x_r, y_r, \theta_r)$  为移动机器人期望位姿。

定义轨迹误差为

$$\begin{bmatrix} x_e \\ y_e \\ \theta_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_r - x \\ y_r - y \\ \theta_r - \theta \end{bmatrix} \quad (6)$$

对式(6)求导可得:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_e \\ \dot{y}_e \\ \dot{\theta}_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_r \cos \theta_e - v + w y_e \\ v_r \sin \theta_e - w x_e \\ w_r - w \end{bmatrix} \quad (7)$$

设计如下的辅助运动学控制律<sup>[20]</sup>:

$$\mathbf{z}_c = \begin{bmatrix} v_c \\ w_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_r \cos \theta_e + k_1 x_e \\ w_r + k_3 v_r y_e + k_2 v_r \sin \theta_e \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中:  $v_c$  为移动机器人辅助线速度;  $w_c$  为辅助角速度;  $k_1, k_2, k_3$  为辅助运动控制律参数, 且  $k_1, k_2, k_3 > 0$ 。在辅助运动控制律作用下, 移动机器人的辅助速度  $[v_c \ w_c]^T$ , 渐近收敛到期望速度  $[v_r \ w_r]^T$ 。

## 2.2 模糊 PID 控制器设计

由上式可知, 设计的控制律可使辅助速度  $[v_c \ w_c]^T$  渐近收敛到期望速度  $[v_r \ w_r]^T$ 。基于移动机器人动力学模型设计 PID 控制器, 使移动机器人实际速度渐近收敛到辅助速度  $[v_c \ w_c]^T$ 。为此定义速度跟踪误差  $z_c$ :

$$\mathbf{z}_c = \mathbf{z}_c - \mathbf{z} = \begin{bmatrix} v_c - v \\ w_c - w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_e \\ w_e \end{bmatrix} \quad (9)$$

式中:  $z_c$  和  $z$  分别是移动机器人的辅助速度和实际速度。令线速度的误差  $v_e = e_1(t)$ , 角速度的误差  $w_e = e_2(t)$ , 分别对  $e_i(t) (i=1, 2)$  设计 PID 控制算法。

常规 PID 的控制规律为

$$u_i(t) = K_P e_i(t) + K_I \int e_i(t) dt + K_D \frac{de_i(t)}{dt} \quad (10)$$

本文将常规 PID 中的比例环节分为两部分, 分别与积分环节、微分环节结合, 这样将常规 PID 控制变为 PI 控制与 PD 控制的组合:

$$u_i(t) = \left[ K_{PI} e_i(t) + K_I \int e_i(t) dt \right] + \left[ K_{PD} e_i(t) + K_D \frac{de_i(t)}{dt} \right] \quad (11)$$

①PI 控制器的输出为

$$u_{iPI}(t) = K_{PI} e_i(t) + K_I \int e_i(t) dt \quad (12)$$

式中:  $e_i(t) = r_i(t) - y_i(t)$  为误差信号;  $u_{iPI}(t)$  为控制器的输出;  $K_{PI}$  和  $K_I$  为比例系数和积分系数。

将上式转换为速度形式为:

$$\frac{du_i(t)}{dt} = K_{PI} \frac{de_i(t)}{dt} + K_I e_i(t) \quad (13)$$

在频域中转化, 并利用后向差分法代入, 当  $T > 0$  时, 利用  $z$  反变换得到:

$$\frac{u_i(kT) - u_i(kT-T)}{T} = K_{PI} \frac{e_i(kT) - e_i(kT-T)}{T} + K_I e_i(kT) \quad (14)$$

令  $K_{PI} = G_{PI}, K_I = G_I$ , 式(14)等价于:

$$\Delta u_{iPI}(kT) = G_I e_i(kT) + G_{PI} e_i(kT) \quad (15)$$

由式(15)设计 PI 控制器, 输入变量是误差  $e_i(kT)$  和误差变化率  $ec_i(kT)$ , 输出变量为控制量  $u_{iPI}$ ; PI 控制器的输出由下式给出:

$$u_{iPI}(kT) = u_{iPI}(kT-T) + G_I e_i(kT) + G_{PI} ec_i(kT) \quad (16)$$

②PD 控制器的输出为

$$u_{iPD}(t) = K_{PD} e_i(t) + K_D \frac{de_i(t)}{dt} \quad (17)$$

式中:  $e_i(t) = r_i(t) - y_i(t)$  是误差信号;  $u_{iPD}(t)$  是控制器的输出;  $K_{PD}$  和  $K_D$  分别是比例系数和微分系数。

式(17)在频域中转换, 并利用后向差分法代入, 当  $T > 0$  时, 利用  $z$  反变换得到:

$$u_{iPD}(kT) = K_{PD} e_i(kT) + K_D \frac{e_i(kT) - e_i(kT-T)}{T} \quad (18)$$

令  $K_{PD} = G_{PD}, K_D = G_D$ , 式(18)等价于

$$u_{iPD}(kT) = G_{PD} e_i(kT) + G_D ec_i(kT) \quad (19)$$

结合式(16)和式(19), 式(11)转化为

$$u_i(kT) = u_{iPI}(kT-T) + G_I e_i(kT) + G_{PI} ec_i(kT) + G_{PD} e_i(kT) + G_D ec_i(kT) \quad (20)$$

令  $K_1 = G_I + G_{PD}, K_2 = G_D + G_{PI}$ , 代入式(20)可得 PID 控制器的总输出为

$$u_i(kT) = u_{iPI}(kT-T) + K_1 e_i(kT) + K_2 ec_i(kT) \quad (21)$$

由式(21)设计模糊 PID 控制算法。

## 2.3 模糊化和模糊控制规则

### 2.3.1 输入变量及其模糊化

模糊控制器的输入变量为误差  $e_i(kT)$  和误差变化率  $ec_i(kT)$ , 量化后的论域取为  $[-L, L]$ 。输入变量在其相应的论域上定义为参考模糊集: 负(N)、正(P), 相应的隶属度函数如图 2 所示。

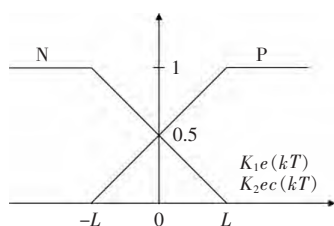


图2 输入的隶属度函数

Fig.2 Input membership functions

### 2.3.2 输出变量及其模糊化

模糊控制器的输出变量是  $\Delta u_1$ , 输出变量在其相应的论域上定义为 3 个参考模糊集, 分别是负(N)、零(Z)、正(P)。-L, 0, L 分别是其各自隶属度函数的中心值, 相应的隶属度函数如图 3 所示。

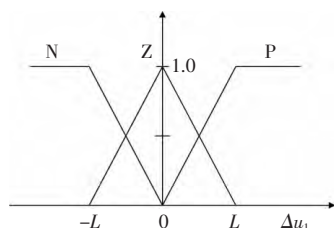


图3 输出的隶属度函数

Fig.3 Output membership functions

输出的隶属度函数表达式为

$$\begin{cases} u_P = L \\ u_0 = 0 \\ u_N = -L \end{cases} \quad (22)$$

输出  $u_1$  的表达式为

$$u_1 = G u_1 \Delta u_1 \quad (23)$$

式中:  $G u_1$  是输出变量  $\Delta u_1$  的量化因子。

### 2.3.3 模糊控制规则

由模糊控制器的结构, 指定的输入是  $K_1 e_i(kT)$  和  $K_2 e_c(kT)$ , 输出量是  $\Delta u_1$ 。基于模糊化中描述的输入和输出隶属度数, 模糊控制器的模糊控制规则的数量为 4, 控制规则如下:

R1: if  $K_1 e_i(kT)$  is N AND  $K_2 e_c(kT)$  is N THEN  $\Delta u_1$  is N

R2: if  $K_1 e_i(kT)$  is N AND  $K_2 e_c(kT)$  is P THEN  $\Delta u_1$  is Z

R3: if  $K_1 e_i(kT)$  is P AND  $K_2 e_c(kT)$  is N THEN  $\Delta u_1$  is Z

R4: if  $K_1 e_i(kT)$  is P AND  $K_2 e_c(kT)$  is P THEN  $\Delta u_1$  is P

### 2.3.4 精确化计算

“重心法”用于计算模糊 PID 的控制作用, 模糊

控制器基于当前的精确化输出如下:

$$\Delta u = \frac{\sum_{r=1}^4 \mu_r u_r}{\sum_{r=1}^4 \mu_r} \quad (24)$$

式中:  $\mu_r$  是控制规则中的隶属度值;  $\Delta u$  是输出。根据模糊推理方法可求出个区域相应的激活度。模糊控制器的输入组合(IC)值的区域如图 4 所示。

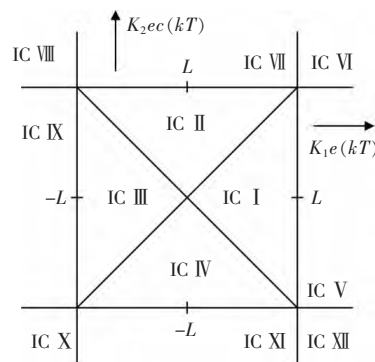


图4 模糊PID分量输入组合的区域

Fig.4 Fuzzy PID component input combination area

模糊控制器的区域可以分解为 12 个不同的区域(IC)。  $\Delta u$  的结果是在每个隶属度区域应用解模糊算法获得。将隶属度数值带入, 整理得到:

$$\Delta u = \begin{cases} 0, (IC \text{ VIII}, IC \text{ XII}) \\ L, (IC \text{ VI}) \\ -L, (IC \text{ X}) \\ \frac{L[K_1 e_i(kT) + K_2 e_c(kT)]}{2(2L - K_1 |e_i(kT)|)}, (IC \text{ I}, IC \text{ III}) \\ \frac{L[K_1 e_i(kT) + K_2 e_c(kT)]}{2(2L - K_2 |e_c(kT)|)}, (IC \text{ II}, IC \text{ IV}) \\ [K_2 e_c(kT) + L]/2, (IC \text{ V}) \\ [K_1 e_i(kT) + L]/2, (IC \text{ VII}) \\ [K_2 e_c(kT) - L]/2, (IC \text{ IX}) \\ [K_1 e_i(kT) - L]/2, (IC \text{ XI}) \end{cases} \quad (25)$$

综上, 由辅助运动学控制器和基于动力学模型的模糊 PID 控制器, 可得系统控制器总框图如图 5 所示。

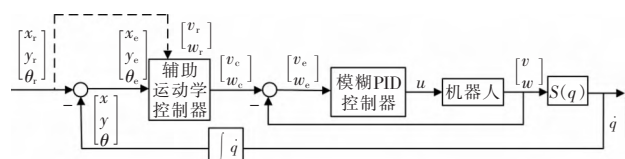


图5 机器人闭环控制系统总框图

Fig.5 Total block diagram of the robot closed-loop control system



### 3 实验

为验证控制方法的有效性,在平台 Qbot2 上进行实验。实验目的是使移动机器人跟踪给定的参考轨迹,参考轨迹为一个半径 1 m 的圆形: $x_r=\sin t$ ,  $y_r=-\cos t$ ,  $\theta=t$ 。实验环境包括:1 台 Qbot2 机器人,6 个 OptiTrack 摄像头,1 台 PC 主机。PC 机是系统的控制中心,安装有实验所需的控制软件与摄像机跟踪处理软件,PC 机控制软件集成了 Matlab/Simulink 模块和无线通信模块。PC 机与 Qbot2 通过无线模块进行通信,PC 机和 OptiTrack 定位系统通过 USB2.0 连接。OptiTrack 定位系统实时跟踪 Qbot2 位置信息并在 PC 机上显示。

移动机器人在平面上的运行轨迹如图 6 所示。

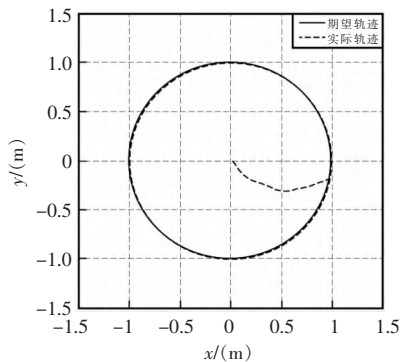


图 6 移动机器人运动轨迹图

Fig.6 Mobile robot motion trajectory

移动机器人速度曲线如图 7 所示。

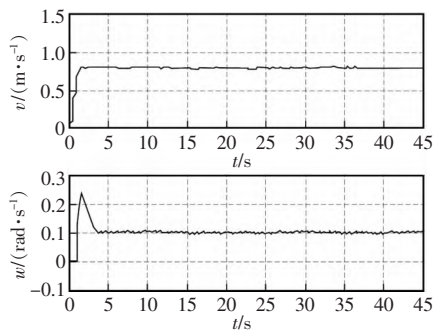


图 7 移动机器人线速度和角速度曲线

Fig.7 Mobile robot linear velocity and angular velocity curve

移动机器人误差曲线如图 8 所示。

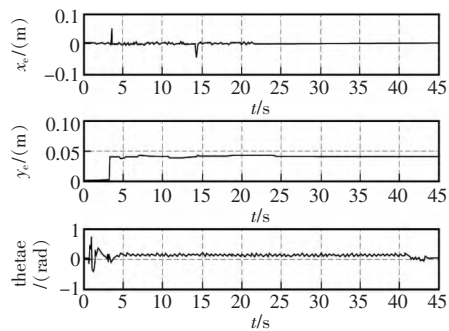


图 8 模糊 PID 误差曲线图

Fig.8 Fuzzy PID error graph

轨迹跟踪控制系统模型,然后设计了结构简单、运算较快的模糊 PID 控制器。从实验结果可以看出,系统的响应速度快、调节精度提高,稳态性能好,这是传统的 PID 控制难以实现的,能较明显地提高控制效果,发挥了传统控制与模糊控制的长处,具有较强的实际意义。

#### 参考文献:

- [1] 郭建明,田献军,刘清.基于模糊神经网络的移动机器人轨迹实时跟踪[J].武汉理工大学学报,2009,31(8):128-132.
- [2] 李艳东,王宗义,朱玲,等.基于递归模糊神经网络的移动机器人滑模控制[J].吉林大学学报:工学版,2011,41(6):731-737.
- [3] 刘钰,周川,张燕.基于 RBF 神经网络的轮式移动机器人轨迹跟踪控制[J].计算机工程与设计,2011,32(5):1804-1806+1832.
- [4] 沈智鹏,张晓玲.带扰动补偿的移动机器人轨迹跟踪反演控制[J].控制工程,2019,26(3):398-404.
- [5] 赖欣,陆阳,周乐,等.轮式移动机器人的 Back-stepping 滑模模糊自适应轨迹跟踪控制[J].机械科学与技术,2018,37(12):1834-1840.
- [6] 侯明冬,王印松.轮式移动机器人的数据驱动轨迹跟踪滑模约束控制[J/OL].控制与决策:1-8[2019-04-30].
- [7] 宋立业,邢飞.移动机器人自适应神经滑模轨迹跟踪控制[J].控制工程,2018,25(11):1965-1970.
- [8] 张扬名,刘国荣,杨小亮.基于滑模变结构的移动机器人轨迹跟踪控制[J].计算机工程,2013,39(5):160-164.
- [9] 常江,孟庆鑫.非完整轮式移动机器人的轨迹跟踪滑模控制[J].控制工程,2010,17(6):849-852.
- [10] 牛雪梅,高国琴,鲍智达,等.基于加权积分增益的温室移动机器人滑模控制研究[J].控制工程,2013,20(6):1207-1211.
- [11] 陈浩.基于自适应模糊滑模控制器的非完整轮式移动机器人轨迹跟踪控制[D].西安:长安大学,2013.
- [12] 崔明月,孙康华,李永福,等.轮子纵向打滑条件下的移动机器人自适应跟踪控制[J].控制与决策,2013,28(5):664-670.
- [13] 何栋炜,周结华,高培,等.机器人自适应非光滑轨迹跟踪控制[J].控制工程,2018,25(9):1666-1670.
- [14] 付涛,王大镇,弓清忠,等.改进神经网络自适应滑模控制的机器人轨迹跟踪控制[J].大连理工大学学报,2014,54(5):523-530.

(下转第 51 页)

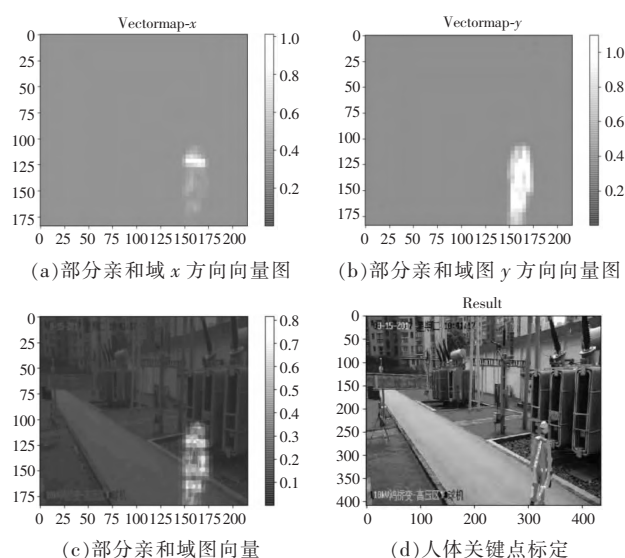


图7 人体关键点输出图

Fig.7 Human body key point output diagram

### 3.4 危险行为检测

前文通过传统图像感知的方法标注了变电站安全区域,获得了安全区域框的点集,也通过基于 OpenPose 的多人姿态估计模型获得了人体关键点数据位置点集。从人体关键位置点集中选取人的双脚位置,通过判断双脚位置点是否位于标注的安全区域内,即可得到人员是否处于危险区域内的结论。

## 4 结语

为了适应变电站视频监控智能化的趋势,本文提出了一种基于 OpenPose 多人姿态估计算法的变电站人员危险行为检测模型。该模型包括3个子任务,分别是安全区域的识别和标定、变电站人员的姿态点分析(可应用于多人)以及巡检危险行为检测。通过训练和测试,该模型在实验环境下获得了较好的识别与检测效果,同时检测速度也能满足实时性要求。

(上接第36页)

- [15] 温淑慧,王同辉,薛红香,等.NAO机器人的手臂建模及模糊控制算法研究[J].控制工程,2018,25(4):559-564.
- [16] 李庆春,沈德耀.一种PID模糊控制器(fuzzy PI+fuzzy ID型)[J].控制与决策,2009,24(7):1038-1042.
- [17] 罗蕊,师五喜,李宝全.受侧滑和滑移影响的移动机器人自抗扰控制[J].计算机应用,2018,38(5):1517-1522.
- [18] Hyoseok Kang, Chang-Woo Park, Chang-Ho Hyun. Alternative identification of wheeled mobile robots with skidding and slipping [J].International Journal of Control, Automation and Systems,

### 参考文献:

- [1] 董坤.视频监控中运动人体检测与异常行为分析研究[D].南京:南京邮电大学,2013.
- [2] Yalin X, Steven A S. Moment and hyper geometric filter for high precision computation of focus, stereo and optical flow[J]. International Journal of Computer Vision, 1997, 22(1): 25-29.
- [3] 聂伟乐, 翟建荣.基于OpenCV的运动目标光流算法仿真[J].应用光学, 2008, 29(6): 867-869.
- [4] Lipton A, Fujiyoshi H, Patil R. Moving target classification and tracking from real-time Video[C]//Proceedings of IEEE Workshop on Application of Computer Vision, Princeton, NJ, 1998: 8-14.
- [5] 李庆忠, 陈显华, 王立红.视频监控中运动目标检测与识别方法[J].计算机工程, 2004, 30(16): 143-145.
- [6] 常晓峰, 冯晓毅.基于背景减法与时空熵的运动检测新方法[J].计算机仿真, 2008, 25(4): 235-238.
- [7] Wren C, Azarbayejani A, Darrell T, et al. Real-time tracking of the human body[C]//IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(7): 781-785.
- [8] Comaniciu D, Ramesh V, Meer P. Kernel-based object tracking[J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(5): 564-577.
- [9] Wren C, et al. Real-time tracking of the human Body[C]//IEEE Trans .PAMI, 1997, 19(7): 780-785.
- [10] McKenna S. Tracking groups of people[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2000, 80(1): 42-56.
- [11] Hu W M, Tan T N, Wang L, et al. A survey on visual surveillance of object motion and behaviors[C]//IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part C: Application and Reviews, 2004, 34(3): 334-352.
- [12] Freedman D, Zhang T. Active contours for tracking distributions[C]//IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(4): 518-526.
- [13] 郭礼华, 袁晓彤, 李建华.基于直方图的Snake视频对象跟踪算法[J].中国图象图形学报, 2005, 10(2): 197-202.
- [14] Supriya R, Sastry P S. Abnormal activity detection in video sequences using learnt probability densities[C]//Conference on Convergent Technologies for Asia Pacific Region, 2003: 369-372.
- [15] Chunku L. Abnormal event detection in video using n-cut clustering[C]//International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, 2006.
- [16] 2016, 14(4): 1055-1062.
- [19] Zeng-Guang Hou, Zhi-Qiang Cao, Min Tan, et al. Robust passivity-based adaptive control of a nonholonomic mobile robot using fuzzy logic [J]. Intelligent Automation and Soft Computing, 2009, 15(2): 187-200.
- [20] Yu S H, Hyun C H, Kang H S. Robust dynamic surface tracking control for uncertain wheeled mobile robot with skidding and slipping[C]//IEEE International Conference on Control & Robotics Engineering, IEEE, 2016.