

# 基于遗传神经网络的机器人视觉控制方法

郭文静 郑来芳

(太原工业学院电子工程系 太原 030008)

**摘要:** 传统的机器人伺服控制需要计算雅克比矩阵以及解雅克比矩阵的逆才能实现系统设计,计算量很大且困难、系统结构复杂。设计了一种基于遗传神经网络的六关节机器人视觉伺服系统,并利用遗传算法对神经网络进行优化。此方法不但解决了系统求解雅克比矩阵及其逆计算量大的问题,而且不需要对摄像机内部参数和机器人参数进行标定,同时由于遗传算法的加入,提高了神经网络的性能,不仅大大简化了控制系统,提高了系统的速度,同时也保证了控制系统的精度。

**关键词:** 视觉伺服控制;雅克比矩阵;遗传神经网络

**中图分类号:** TN710.9    **文献标识码:** A    **国家标准学科分类代码:** 120.30

## Method of robot vision based on genetic neural network

Guo Wenjing Zheng Laifang

(College of Electrical Engineering, Taiyuan Industrial College, Taiyuan 030008, China)

**Abstract:** Traditional robot visual servoing control system to realize the calculation of the Jacobian matrix and the solution of the inverse Jacobian matrix, a large amount of calculation, the complex structure of the system, and realize the difficult calculation. In this paper, a six joint robot visual servoing system based on genetic neural network is designed, and genetic algorithm is used to optimize the neural network. This method not only solves the system of solving the Jacobian matrix and its inverse computation problem, and does not require the camera internal parameters and robot parameters are determined at the same time due to the addition of the genetic algorithm, to improve the performance of neural network, not only greatly simplifies the control system, improve the system speed, but also to ensure the control system precision.

**Keywords:** servo-control system; Jacobian; genetic neural network

## 0 引言

根据不同类型的从输出端反馈回来的信息,机器人视觉伺服控制系统可以分为基于图像和位置的伺服控制。其中,基于图像的视觉伺服的期望特征和目标图像作为控制输出到控制器的直接使用的实际位置的误差,通过机器人关节角速度控制器的计算,从而带动机械手运动的目标,达到了预定的位置。相对于基于位置的伺服系统来说,该系统的定位精度对摄像机标定误差并不敏感,因此,针对机器人伺服控制的研究,基于图像的方法运用很广泛<sup>[1-3]</sup>。但是为了将图像特征参数的变化与机器人位姿变化联系起来,系统在控制器的设计中必须要计算图像雅克比矩阵和图像雅克比矩阵的逆。当机器人在运动的时候,目标深度信息是不断变化的,雅克比矩阵的值也是不断变化的,以上的这些问题使雅克比矩阵的求解变得极为复杂<sup>[4-6]</sup>。

机器人运动轨迹跟踪与图像特征之间的关系,一般可用图像雅可比矩阵来描述,而且神经网络是一种非线性函数逼近器,经常用于复杂的非线性系统<sup>[7-10]</sup>。把神经网络应用在机器人视觉伺服控制系统中,不需要进行摄像机和机器人的标定,仅仅是把复杂的非线性变换过程转变成简单的神经网络映射关系。因此在视觉伺服控制方法中,想方设法替代图像雅可比矩阵的研究中,很多都采用神经网络控制方法<sup>[11-15]</sup>。

本文通过将遗传算法和人工神经网络相结合,利用人工神经网络的非线性映射能力强、可以任意精度逼近非线性系统的特点,研究图像特征变化与机器人关节速度之间存在的复杂非线性关系。这种方法使得系统省略了计算图像雅克比矩阵和机器人雅克比矩阵的逆,大大减少了系统的计算量,避免了参数设置对系统造成的误差。而且通过遗传算法对神经网络的权值和阈值的优化和选择,使得对

神经网络的训练效果远优于普通 BP 神经网络,极大地减小了系统的误差。

### 1 图像雅克比矩阵

机器人运动轨迹跟踪与图像特征之间的关系,一般可用图像雅可比矩阵来描述。定义如下:

$$\dot{f} = J_f(\gamma) \cdot \dot{\gamma} \quad (1)$$

其中,  $f$  为图像特征参数矢量,  $\gamma$  为任务空间中机械手的坐标参数,  $J_f(\gamma)$  为图像雅可比矩阵,可表示为:

$$J_f(\gamma) = \left( \frac{\partial f}{\partial \gamma} \right) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1(\gamma)}{\partial \gamma_1} & \dots & \frac{\partial f_1(\gamma)}{\partial \gamma_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_m(\gamma)}{\partial \gamma_1} & \dots & \frac{\partial f_m(\gamma)}{\partial \gamma_n} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (2)$$

在机器人系统中,输入时机器人的关节运动速度矢量  $\dot{q}$ , 其与末端执行器位姿变化率的微分关系如下:

$$\dot{\gamma} = J_\gamma \cdot \dot{q} \quad (3)$$

机器人雅可比矩阵  $J_\gamma$  可表示为:

$$J_\gamma(q) = \left( \frac{\partial \gamma}{\partial q} \right) = \begin{bmatrix} \frac{\partial \gamma_1(q)}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial \gamma_1(q)}{\partial q_p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial \gamma_n(q)}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial \gamma_n(q)}{\partial q_p} \end{bmatrix} \quad (4)$$

通过式(4)变化可以得出机器人关节运动与图像特征之间的关系如下,令  $J = J_f J_\gamma$ , 得  $\dot{f} = J \cdot \dot{q}$ ;  $J$  就是系统总的图像雅可比矩阵。

$$\dot{f} = J_f \cdot \dot{\gamma} = J_f J_\gamma \cdot \dot{q} \quad (5)$$

### 2 遗传神经网络

本文将遗传算法与人工神经网络相结合的方法确定网络映射结构,然后利用遗传算法去优化逼近决定网络连接的权重与阈值。人工神经网络算法很容易陷入误差函数的局部极值点,对于比较大的搜索空间和不可微函数,全局极值点不能得到有效搜索。而遗传算法是一种全局优化搜索算法,如果将两者融合在一起能够有效地避免局部极小点,更好的逼近机器人关节角运动矢量和图像特征矢量之间复杂的非线性关系。本文采用的遗传神经网络算法主要分为 3 个部分:1)BP 神经网络结构的确定;2)加入遗传算法进行优化;3)遗传神经网络的训练和预测。将找到的最优个体中包含的权值和阈值信息赋给神经网络,网络训练后预测函数输出。算法流程如图 1 所示。

### 3 基于图像的视觉伺服系统

基于图像的视觉伺服是直接利用图像的期望特征与目标的实际位置的误差作为控制量输出到控制器中,通过控制器计算出机器人的关节角的速度,从而驱动机械手向目标运动,达到预定位置。其控制系统结构图如图 2 所示。

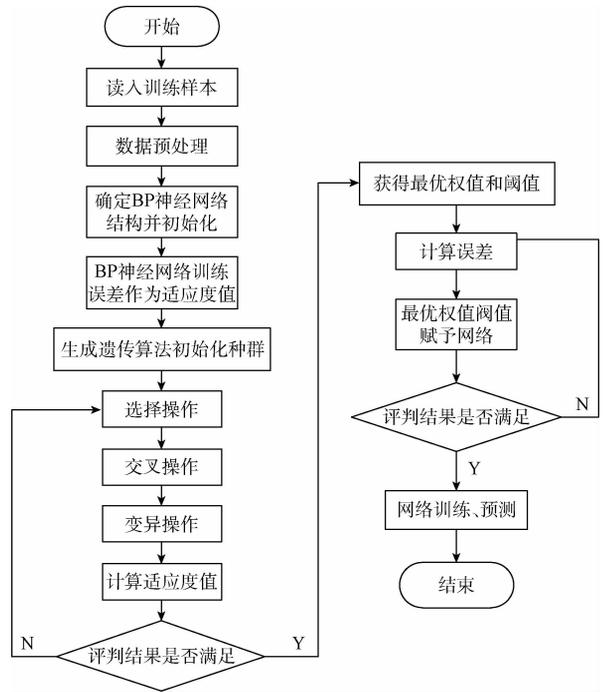


图 1 本文算法流程

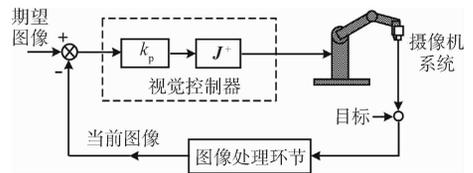


图 2 基于图像的伺服控制系统总体框图

### 4 遗传神经网络视觉控制器设计及仿真

本文中,假设机器人所定位的工件时正方形,选取正方形的 4 个顶点为特征点,要求机器人运动到工件的 4 个特征点在图像与提前预设的期望特征点完全重合。4 个对应的点分别构成了 4 个特征向量,而由雅可比矩阵可知输出为控制六关节机器人的 6 个关节运动矢量。遗传神经网络输入层的节点数为 8,表示当前图像的特征点与期望图像特征点的位置之间的差异,输出层的节点数为 6,表示机器人关节角的变化。隐含层的节点数太少将导致网络不能映射复杂的非线性关系,节点数太多会导致训练时间过长,误差也不一定小,因此本文通过多次实验采用了节点数为 20 的隐含层。遗传神经网络模型如图 3 所示。

本文在 MATLAB 软件中利用 Robotics 工具箱搭建了一个六关节机器人的模型,利用雅可比矩阵计算关节速度与图像特征点速度关系。然后对其进行仿真,并记录了 1 681 组关节运动矢量与图像特征矢量之间的试验数据,用于遗传神经网络的训练和预测。神经网络初始参数设置为:网络训练次数 net.trainParam.epochs=100;网络学习

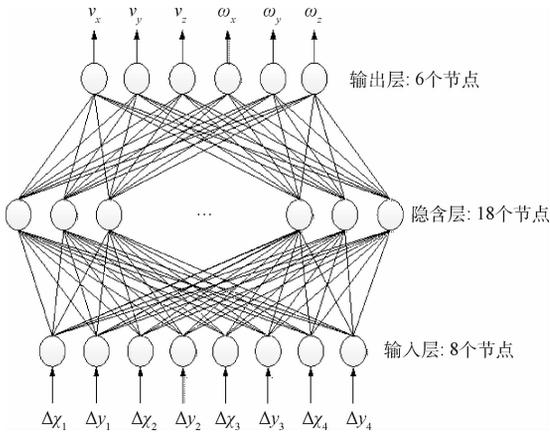


图 3 遗传神经网络结构模型

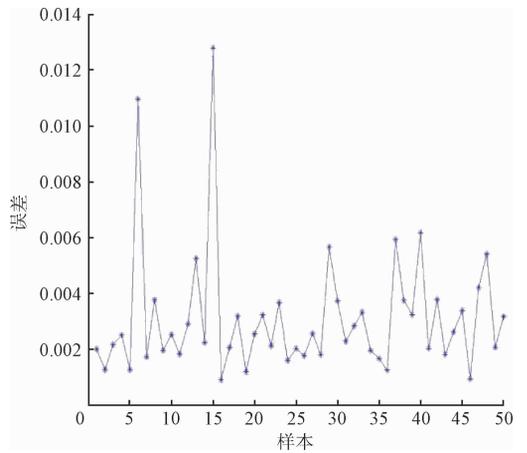


图 5 BP 神经网络测试集的输出误差平方和

率 net.trainParam.lr = 0.1; 网络性能函数误差 net.trainParam.goal = 0.00002; 遗传算法初始参数设置: 进化参数 maxgen = 10; 种群规模 sizepop = 30; 交叉概率 pcross = 0.3; 变异概率 pmutation = 0.1 并采用轮盘赌法选择新个体。网络模拟情况如图 4 所示。

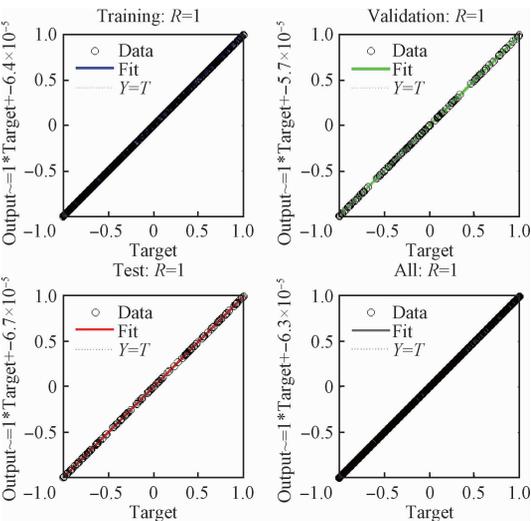


图 4 网络拟合情况

在神经网络功能训练过程中, MATLAB 将训练数据自动划分为 3 个部分, 即训练集、验证集和测试集, 神经网络输出、3 个集合的期望输出以及所有数据之间的拟合显示在图中。图中的实线(Fit)是实际拟合情况, 虚线是理想拟合情况, 从图中可以看出遗传神经网络拟合情况  $R=1$ , 基本完全拟合。

同时, 还用 BP 神经网络和遗传神经网络对数据进行训练对比, 图 5、6 分别反映了 BP 神经网络测试集的输出误差平方和以及遗传神经网络的测试集输出误差平方和。从对比图中可以看出 BP 神经网络的误差平方和最高达到了将近 0.013, 而遗传神经网络的误差平方和最大误差仅 0.0035, 前者的误差是后者的近 4 倍。

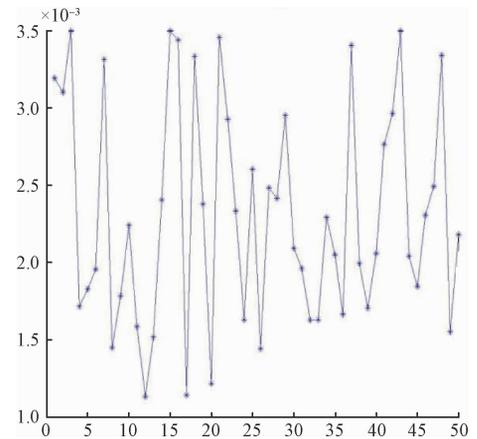


图 6 遗传神经网络的测试集输出误差平方和

### 5 遗传神经网络视觉伺服系统及仿真

在视觉伺服控制系统中, 采用受过训练的遗传神经网络作为所设计系统的控制器。用遗传神经网络来学校机器人关节运动矢量与图像特征变化矢量之间的关系, 使它方便地计算出任意时刻关节角运动功矢量, 以实现从任意初始位置运动到期望的位置和姿态的目标。遗传神经网络控制系统结构图 7 所示。

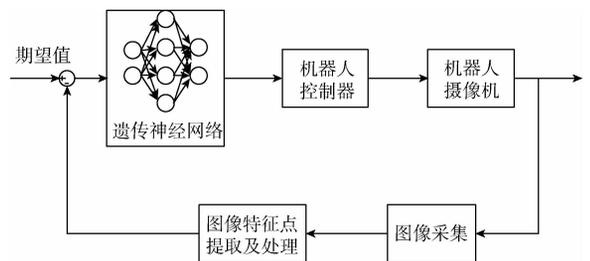


图 7 遗传神经网络控制系统结构

本文利用 MATLAB 中的 Robotic 工具箱, 在 Simulink

环境下搭建了基于遗传神经网络的视觉伺服控制系统并进行仿真,用上文中训练好的遗传神经网络替代了系统中计算图像雅克比矩阵和雅克比矩阵的逆的模块。在仿真中,目标为一个正方,在形世界坐标中的 4 个顶点坐标为:  $[A,B,C,D]=[-1.25,-1.25,-0.75,-0.75;-1.25,-0.75,-0.75,-1.25;5,5,5,5]$ ;目标在摄像机图像坐标系中的 4 个顶点坐标为  $[244.94, 344.69, 351.76, 252.02;743.68, 750.76, 651.01, 643.93]$ ;期望图像特征点位置为  $[412\ 412\ 612\ 612;412\ 612\ 612\ 412]$ ;摄像机的具体参数为:焦距  $f=0.008\text{ m}$ ,目标成像深度  $h=0.5\text{ m}$ 。

图 8、9 分别反映了摄像机运动到期望点,目标 4 个顶点在摄像机图像坐标系中的运动轨迹和机器人 6 个关节运动速度变化。从实验结果可以看出所设计的基于遗传神经网络的机器人视觉伺服系统能够使机器人很好的运动到期望点,具有较好的性能。

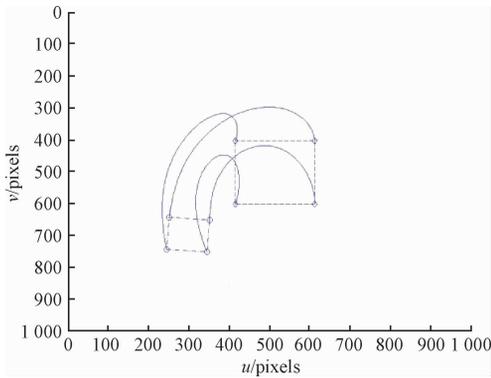


图 8 目标运动轨迹

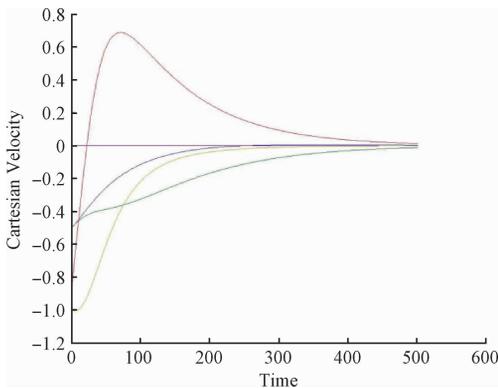


图 9 机器人 6 个关节运动速度变化

## 6 结 论

本文分析了基于图像的机器人视觉伺服控制中雅可比矩阵计算的重重困难,提出了利用遗传神经网络实现图像空间与机器人视觉伺服运动空间的非线性映射关系。本文基于遗传神经网络设计一种六关节的机器人视觉伺服系统,运用遗传算法对神经网络进行优化。从实验结果可以

看出,本文所设计的基于遗传神经网络的机器人视觉伺服系统能够使机器人很好的运动到期望点,具有较好的性能。

## 参 考 文 献

- [1] 李二超,李战明,李炜. 未知环境下的机器人视觉/力觉混合控制[J]. 控制与决策, 2010, 25(3): 430-432.
- [2] 王为民. 机器人视觉技术在弹条搬运生产中的应用[J]. 机器人技术与应用, 2011(1): 482-485.
- [3] 谢冬梅,曲道奎,徐方. 基于神经网络的机器人视觉伺服控制[J]. 微计算机信息, 2009, 22(4): 271-274.
- [4] MEEUSSEN W, STAFFETTI E, BRUYNINCKX H, et al. Integration of planning and execution in force controlled compliant motion[J]. Robotics & Autonomous Systems, 2008, 56(5): 437-450.
- [5] 张晓晖,刘丁. 仿人视觉过程的机器人视觉伺服系统研究[J]. 计算机工程与应用, 2010, 43(18): 11-14.
- [6] LOPES A, ALMEIDA F. A force-impedance controlled industrial robot using an active robotic auxiliary device [J]. Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 2009, 24(3): 299-309.
- [7] 辛菁,刘丁,徐庆坤. 基于 LS-SVR 的机器人空间 4DOF 无标定视觉定位[J]. 控制理论与应用, 2010, 27(1): 77-85.
- [8] 李优新,毛宗源,田联房. 基于图像矩与神经网络的机器人四自由度视觉伺服[J]. 控制理论与应用, 2009, 26(10): 1162-1166.
- [9] KHAN U, JAN I, IQBAL N, et al. Uncalibrated eye-in-hand visual servoing: an LMI approach [J]. Industrial Robot: An International Journal, 2011, 23(6): 301-306.
- [10] WANG H S, LIU Y H, CHEN W D. Uncalibrated visual tracking control without visual velocity[J]. IEEE Transactions on Control System Technology, 2010, 22(10): 318-322.
- [11] 过希文,王群京,李国丽. 基于动态面的机械臂轨迹跟踪神经网络自适应算法[J]. 系统仿真学报, 2011, 23(11): 2327-2333.
- [12] PARK B S, YOO S J, PARK J B, et al. Adaptive tracking control of nonholonomic mobile robots considering actuator dynamics: dynamic surface design approach [J]. American Control Conference, 2009, 66(8): 3860-3866.
- [13] ZHONG G L, KOBAYASHI Y, HOSHINO Y. System modeling and tracking control of mobile manipulator subjected to dynamic interaction and uncertainty [J]. Nonlinear Dynamic, 2013, 73(10): 167-182.
- [14] YAO J Y, JIAO Z X, YAO B. robust control for

static loading of electro-hydraulic load simulator with friction compensation [J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2012, 33(6):133-139.

- [15] FARZIN P, MOHAMMADHOSSAIN Y, MIRZAIE M, et al. Design novel fuzzy robust feedback linearization control with application to robot manipulator[J]. International Journal of Intelligent Systems and Applications (IJISA), 2013, 36(5): 168-173.

## 作者简介

**郭文静**, 1989年出生, 硕士, 助教, 主要研究方向为模式识别、机器视觉。

**郑来芳**(通信作者), 1989年出生, 硕士, 助教, 主要研究方向为模式识别、机器视觉。

E-mail: syj\_zheng@126.com