

基于 BP 神经网络的小型组足球机器人 视觉子系统的图像分割技术

朱艳丽, 李晓明*

(浙江理工大学 机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018)

摘要:为解决小型足球机器人视觉子系统图像分割的实时性和光照适应性问题,将 BP 神经网络技术应用到图像分割中。在图像分割技术和 BP 神经网络的理论分析基础上,建立了两者之间的关系,并建立了相应的 BP 神经网络模型。图像像素离散化并将其 H、Cb、Cr 分量值作为神经网络的输入,将目标像素点分类类别作为神经网络的输出。通过改进神经网络学习率参数和误差计算函数提高了神经网络的收敛速度,采用背景相减法 and 归一化处理算法提高了系统的实时性。实验结果表明所设计的 BP 神经网络模型和学习算法能够有效地解决小型足球机器人视觉子系统图像分割实时性和光照适应性问题。

关键词:BP 神经网络;图像分割;足球机器人

中图分类号:TP242.62;TN911.73

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)01-0079-04

BP neural network based image segmentation technique for small sized league soccer robot team system

ZHU Yan-li, LI Xiao-ming

(Faculty of Mechanical Engineering & Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: BP neural network was adopted in the small sized league (SSL) robot soccer team for image segmentation in order to fulfill the requirements of real time processing and environmental light adaptation. The theoretical relationship between the image segmentation and BP neural network was studied, and the model of the BP neural network was established. The array of each component values (H, Cb, Cr) of all the pixels in the image were taken as the input of neural network, and the arrays of target pixel categories as the output. The convergence rate was improved by optimizing the learning ratio parameters and the error function definition. The background-subtraction method and normalization algorithms were applied to speed the segmentation process. The image segmentation experiment shows that the model and algorithm of BP neural network can solve the image segmentation problems for small size soccer robot vision subsystem, and demonstrate good performance in real timing and adaptability in different lighting conditions.

Key words: BP neural networks; image segmentation; soccer robot

0 引 言

小型组足球机器人系统的工作是从视觉子系统开始的,视觉子系统是整个足球机器人系统的信息采集和反馈机构^[1],视觉子系统在实时性、准确性和光照适应性方面都有很高的要求。在比赛中,目标丢失或定位不准确等现象会经常出现,其主要原因是不能准

确分割机器人的色标,或分割的色标边缘不准确导致属性计算不精确,因此图像分割是足球机器人视觉的关键^[2]。图像分割技术是由图像处理到图像识别分析的一个重要步骤,也是一种基本的计算机视觉技术。这是因为图像的分割、目标的分离、特征的提取和参数的测量将原始图像转化成更为抽象、更为紧凑的形式,使得更高层次的理解和分析成为可能^[3]。传统的图

收稿日期:2010-07-08

作者简介:朱艳丽(1984-),女,内蒙古赤峰人,主要从事足球机器人图像处理方面的研究。E-mail: zyl993@126.com

通信联系人:李晓明,男,博士,副教授,硕士生导师。E-mail: lxm_zju@yahoo.com.cn

像分割方法是基于 R 、 G 、 B 阈值法来判断该点是否为目标像素点,由于噪声和背景的干扰,往往不能取得质量良好的目标图像。

本研究根据足球机器人视觉系统的特点,提出了基于 BP 神经网络的图像分割算法。

1 足球机器人彩色图像特征量提取

实验采用从浙江理工大学实验室实地采集到的足球机器人系统真彩色图像。采集图片的摄像机是日本 SENTECH 公司的 STC-TC33USB-AT,分辨率为 640×480 ,采集图像的最大速度为 60 fps,通讯为 USB 线,镜头是日本富士能公司的 FY28Y8M,焦距 $2.8\text{ mm} \sim 8\text{ mm}$,C 型接口。图像处理的程序用 Matlab 程序设计语言编制^[4]。将采集到的彩色图像分解为 3 个分量 R 、 G 、 B ,分别在普通光照和光线较暗的情况下对 R 、 G 、 B 分量的平均值进行计算,再把 RGB 颜色空间转换到 HSV 颜色空间和 YCbCr 颜色空间,对 3 个颜色空间的分量平均值进行比较。其结果如表 1 所示(该表为机器人小车的黄色对标在不同光照条件下,各个颜色模型中每个参量的分布值)。

表 1 黄色色标在不同光照条件下的各色彩空间取值分布

光照条件	普通光照			光线较暗		
	取值范围		平均值	取值范围		平均值
	MIN	MAX		MIN	MAX	
RGB	R	234 254	244	162	183	172
	G	239 254	246	160	194	177
	B	102 134	118	65	95	80
YCbCr	Y	209 251	230	149	162	155
	Cb	67 84	75	75	96	85
	Cr	154 161	157	144	157	150
HSV	H	56 65	60	50	66	58
	S	115 137	126	125	142	133
	V	233 258	245	173	188	180

从该数据可以看出在不同的光照条件下,RGB 模型中的 R 、 G 、 B 各值的偏移较大,对光照非常敏感;YCbCr 模型中的 Y 、 Cb 、 Cr 各值偏移相对较小,优于 RGB 模型;HSV 模型中的 H 值几乎没有变化,但是 V 分量值变化相对较大,所以选 H 分量作为神经网络的一个特征值。YCbCr 颜色空间的 Y 分量变化较大, Cb 、 Cr 分量存储图像的彩色信息,后者受光照强度变化影响较小,所以 Cb 、 Cr 分量作为另外的特征值。

综上所述,笔者建立了适合足球机器人图像分割的混合颜色空间,选取 H 、 Cb 、 Cr 分量为特征量。这种颜色空间的组合可以加强图像的彩色信息,提取出分类错误概率小的特征量,为准确的图像分割做好准备。

2 BP 神经网络建模

多层前向反馈式神经网络是目前应用比较广泛的人工神经网络,其中 BP(BackPropagation network,简称 BP 网络)学习算法是最著名的多层前向反馈式神经网络训练算法之一。该算法在图像处理和图像识别领域已经取得令人瞩目的成就,其主要思想是利用已知确定结果的样本模式对网络进行训练,然后利用训练好的网络进行图像的处理或识别^[5-6]。

2.1 样本的选择和网络的输入/输出的确定

在小型足球机器人比赛场地上采集 300 幅图片,所采集的图片是在各种条件下采集的,包括不同的光照、天气等情况,其中的 200 幅作为训练样本,60 幅作为测试样本,剩下的 40 幅作目标信号,该目标信号是利用手动阈值分割的方法得到的分割好的图片。

输入层是数据的缓冲存储器,其作用是把数据源加载到网络上^[7]。节点数由图像特征向量的维数确定,本研究采用 3 层完全结合方式的 BP 神经网络分割足球机器人图像,输入的特征量为每个像素的 H 、 Cb 、 Cr 值,所以该神经网络的输入向量大小为 3,每幅图像的大小为 640×480 ,则输入节点数为 $640 \times 480 \times 3$,输出层节点数由类别数多少确定,图像分割中可以定为 2,用以输出目标图像与非目标图像。

隐层节点数与求解问题的要求,输入输出单元数多少都有直接关系,隐层节点数的选择一直是一个复杂性的问题,至今没有统一的标准来确定隐层节点数的个数,本研究设计一个隐含层神经元个数可变的网络进行测试,通过误差对比,确定最佳隐含层的个数。其测试结果如表 2 所示。

表 2 网络误差表

神经元数	网络误差
8	1.212 3
9	1.101 0
10	1.001 1
11	1.112 1
12	1.100 2
13	1.000 0
14	0.096 8
15	0.099 8

经过测试可以看出,神经网络的网络误差并不随着隐含层神经元数的增加而减小。最后选择隐含层神经元数为 15,因为此时神经网络的误差小且性能曲线较好。

2.2 BP神经网络算法的改进

BP网络的理论依据坚实,推导过程严谨,物理概念清楚,通用性强^[8]。但是BP网络也存在许多不足之处,主要包括收敛速度慢,易陷入局部极小等缺点^[9],所以本研究对标准BP算法进行改进。

(1) 学习率的改进。

在标准BP算法中,权值的调节量为:

$$\Delta w = -\eta \frac{\partial E}{\partial W} \tag{1}$$

其中, η 是学习率,取值范围为 $[0,1]$,一般在网络学习过程中选取的 η 值是不变的,这极大地影响了算法的收敛速度。若学习率过大,可以提高收敛速度,但可能导致振荡现象甚至发散;相反地,若学习率过小,可以保证训练能稳定的收敛,但学习速度慢。因此,一个固定的学习率不可能很好地适用于网络的整个学习过程。文献[10]提出了将学习率与误差函数相关联:当误差减小,增大学习率;当误差增大,减小学习率,则:

$$\eta(k) = \begin{cases} 1.05\eta_{(K-1)} & E_{(K-1)} > E_{(K)} \\ 0.7\eta_{(K-1)} & E_{(K-1)} > E_{(K)} \\ \eta_{(K-1)} & E_{(K-1)} = E_{(K)} \end{cases} \tag{2}$$

该算法在一定程度上提高了收敛速度。

(2) 误差函数的改进。

标准BP算法采用总误差函数为:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^p \sum_{k=1}^m (t_{pk} - y_{pk})^2 \tag{3}$$

使用梯度下降算法使得总误差函数达到最小值,随着学习次数的增加, $|t_{pk} - y_{pk}|$ 越来越小,会导致函数逼近速度减慢,精度得不到保证,本研究采用文献[11]的误差梯度函数:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^p \sum_{k=1}^m \ln[1 + (t_{pk} - y_{pk})^2] \tag{4}$$

该函数能有效消除少数异常误差带来的负面影响,同时保留主要误差的数值特性,加快收敛速度。

2.3 应用BP神经网络分割彩色图像流程

实验是基于Matlab软件平台的,BP神经网络的流程图如图1所示。

输入样本、目标向量如上所述,以彩色图像的 H 、 Cb 、 Cr 作为输入向量,手动分割的图像作为目标向量,根据确定的网络层数及神经元个数,初始化神经网络,给出各个神经元之间的初始权值 W 和阈值 B 。设定误差指标为0.1,训练步数为5000次。输入层到隐含层传递函数为正切函数,隐含层到输出层为对数函数。

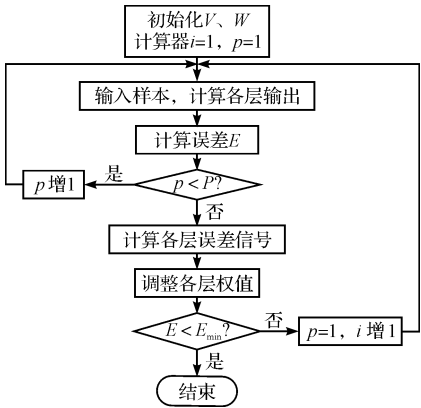


图1 BP神经网络训练流程图

利用大量的训练样本对网络进行训练直到符合预先规定的网络识别误差,所得的权值和阈值以文件形式保存以备识别仿真时使用。

2.4 提高系统实时性的改进方法

在开始训练神经网络之前,可以采用背景相减的算法,以提高系统的实时性。主要是利用机器人系统左右摄像机分别采集左右半场的图像,背景图像在整个比赛过程中保持不变,采用背景相减的算法,避免训练整幅图像的所有像素点。同时对输入样本、训练样本和测试样本进行归一化的操作,将重复的像素点去除,因为这些像素点不能提供额外的样本信息,只能增加训练时的复杂度和冗余度。通过上述方法,可以有效提高神经网络训练的实时性。

为了验证上述方法的有效性,可以将改进前的神经网络训练过程及结果与改进后的过程及结果进行对比,同时为了加速收敛和防止振荡,网络采用学习速率自适应的梯度下降动量法进行训练,其结果如图2所示。

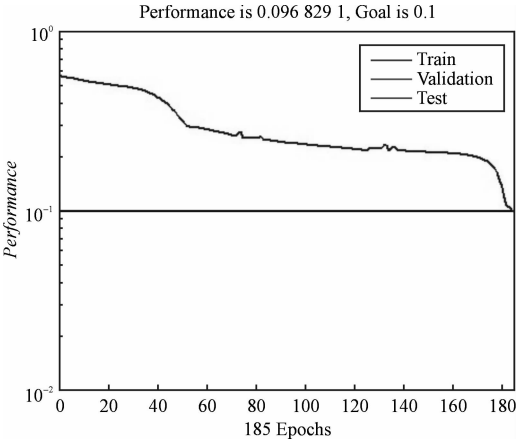


图2 未改进的神经网络训练过程及结果

采用上述背景相减的方法和归一化处理之后的训练过程及结果如图3所示。

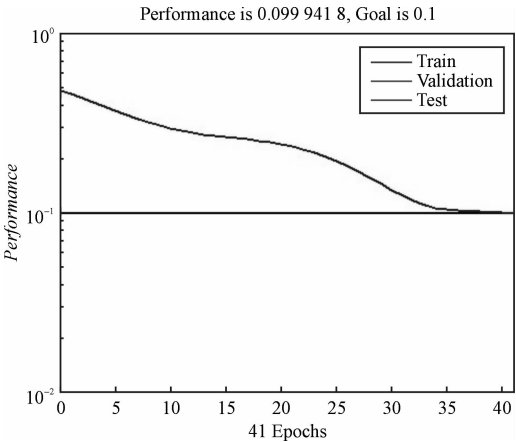


图 3 改进后的神经网络训练过程及结果

由图可见,改进后的神经网络经过 41 次训练达到稳定,且训练过程平稳,没有抖动。采用本算法经颜色空间转换到训练结束所用全部时间,需要 2~3 min,应用的硬件环境是在 CPU 为英特尔酷睿双核,2 G 内存的台式机上。

3 彩色图像分割实验结果

将在各种环境下采集到的 60 幅测试样本图像用训练好的神经网络进行分割并验证其实时性。实验结果表明处理每幅图片所需时间在 0.02~0.03 s 之间,达到每秒钟处理 30 帧图像的速度,实现图像分割的实时性。60 幅图片其中一幅的处理结果如图 4~图 7 所示,平均每幅图片均可得到这样的测试结果。

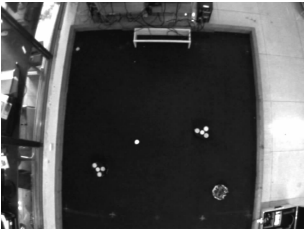


图 4 未分割的足球机器人彩色图像

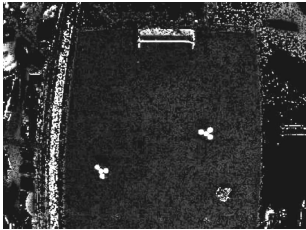


图 5 手动分割 RGB 颜色空间下的彩色图像



图 6 手动分割的 HSV 颜色空间的目标图像

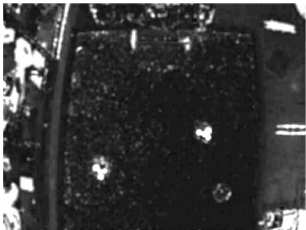


图 7 经过滤波处理后分割的足球机器人彩色图像

分割的结果是得到多个具有相同颜色属性的像素组

成的区域,要通过特征提取确定这些区域代表的物体。为了验证特征量 H , Cb 和 Cr 的组合能够提高足球机器人图像分割的准确率,可以分别使用 3 个特征量进行图像分割,再将 3 个特征量组合对图像进行分割。分割的准确率如表 3 所示,实验用图片为实地采集的 60 幅测试样本。

表 3 准确率对比表

特征量	正确分割的图像个数	分割分辨率/(%)
H	48	0.8
Cb	43	0.71
Cr	42	0.7
H, Cb 和 Cr 组合	55	0.92

虽然转换到一个颜色空间会提高系统的处理速度,但如前文所述,HSV 颜色空间的 V 代表亮度信息,受光照变化的影响较大,而 S 分量是储存饱和度信息的分量,不能提高额外的色彩信息。通过对神经网络实时性进行改进,即使转换到两个颜色空间也能完成每秒钟处理 30 帧图片的要求,并且更有效地提高系统分割图片的准确率。

4 结束语

本研究采用 BP 神经网络进行小型足球机器人视觉系统的图像分割,通过选择不同的色彩分量组合作为神经网络输入提高了图像分割的准确性,采用改进的学习算法提高了神经网络学习的效率,初步实现了对图像的有效分割,并在光照、实时性方面满足了小型组足球机器人比赛系统的需要。同时,该研究还可在下述方面进一步改进:

- (1) 在训练 BP 神经网络的过程中,利用神经网络的学习能力,应尽可能多地采集并训练各种情况下的彩色图片,训练图片越多,图像分割的效果越好,准确度越高,可以更好地应用于下一步的目标识别中。
- (2) 对足球机器人的彩色图像进行了颜色空间的转换,分析得到了与亮度信息无关且抗噪的特征量,并运用 BP 神经网络构造分类器分割机器人图像。通过实验可以看出,特征量的优化组合可以提高图像分割的准确率。
- (3) 可以对 BP 神经网络进一步优化,如可以利用遗传算法的优化求解能力求取神经网络的权值阈值,进一步提高分割精度。

(下转第 93 页)

编辑键盘区移到了用户大拇指的操作区。

(2) 在设计过程中,考虑使用的便利性,笔者将“Backspace”键、“Delete”键的位置进行了调整,把数字辅助键和运算符键设计在鼠标上。

(3) 基于人机工程学原理,笔者将主键区设计为球面,编辑与定位键盘区设计为斜面。

(4) 从视觉和心理因素出发,笔者考虑了键盘和鼠标的色彩设计,将凸显中国元素的图案引入键盘和鼠标界面^[16]。

本设计针对一定的客户群,将键盘和鼠标联系起来进行设计,为设计者和生产厂商提供设计理念和方法的参考。当然一种设计是否真正符合社会需要,还要在考虑多方面因素的基础上进行科学实验和研究。

参考文献(References):

- [1] KIESLER S, FINHOLT T. The mystery of RSI[J]. **American Psychologist**, 1988, 43(12):1004-1015.
- [2] 蔡乐农.“键盘腕”及其诊治和预防[J]. **职业与健康**, 2002, 18(12):115.
- [3] FAGARASANU M R, KUMAR S. Carpal tunnel syndrome due to keyboarding and mouse tasks: a review[J]. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 2003, 31(2):119-136.
- [4] 宋海涛,任中武,柳连成,等. 计算机操作引起的尺骨撞击综合征[J]. **中国矫形外科杂志**, 2009, 17(15):1193-1195.
- [5] 赵英新,陈淑,景璟. 人机工程键盘的设计与研究

[J]. **山东工业大学学报**, 2001, 31(5):433-440.

- [6] 崔建昆,刘敏娟,王喆. 基于手指工作空间的计算机键盘设计[J]. **人类工效学**, 2004, 10(3):31-33.
- [7] 杨明朗,袁桃. 基于人机工程学的键盘设计[J]. **包装工程**, 2005, 26(5):168-170.
- [8] 张学成,孔庆华,杨东森. 笔记本电脑键盘的人因工程学研究[J]. **科技导报**, 2007, 25(13):27-29.
- [9] 楚杰,牛敏,楚良海. 键盘的创新设计[J]. **工程图学学报**, 2007(6):115-120.
- [10] 陆德谋,徐学军,赖朝安,等. 运用人因工程的笔记本键盘布局探讨[J]. **工业工程**, 2009, 12(1):88-91.
- [11] 骆康,陈国金,苏少辉,等. 基于变量化的产品变型设计研究[实现][J]. **机电工程**, 2009, 26(11):98-110.
- [12] BRIDGER R S. Introduction to Ergonomics[M]. New York: McGraw-Hill Companies, 1995.
- [13] NELSON J E, TREASTER D E, MARRAS W S. Finger motion, wrist motion and tendon travel as a function of keyboard angles[J]. **Clinical Biomechanics**, 2000, 15(4):489-498.
- [14] NORMAN D A. The Design of Everyday Things[M]. New York: Doubleday Currency, 1988.
- [15] ANGER E P. The Color Bond Book-how to Use Color in Commerce and Industry[M]. Aldershot: Gower Technical Press, 1987.
- [16] 王占海,翟庆刚. DELMIA 人机工程在飞机虚拟维修中的应用[J]. **机电技术**, 2009(B10):36-44.

[编辑:柴福莉]

(上接第82页)

参考文献(References):

- [1] RoboCup. RoboCup official site[EB/OL]. [s. d.]. <http://www.robocup.org>.
- [2] BRUCE J, BALCH T, VELOSO M. Fast and Inexpensive Color Image Segmentation for Interactive Robots[C]//IEEE Proceedings of International Conference on Intelligent Robots and Systems(IROS). Edmonton: [s. n.], 2005:2061-2066.
- [3] BRUCE J, BALCH T, VELOSO M. Fast and Inexpensive Color Image Segmentation for Interactive Robots[C]//IEEE Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System. Takamatsu: [s. n.], 2000:2044-2049.
- [4] 张德丰. Matlab 神经网络仿真与应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2009.
- [5] TORRES E, WEITZENFELD A. RoboCup small-size league: using neural networks to learn color segmentation during vis-

ual processing[J]. **IEEE Latin American Robotic Symposium**, 2008(29):14-19.

- [6] 王津京,赵德安,姬伟,等. 基于 BP 神经网络的苹果图像分割算法[J]. **农机化研究**, 2008, 11(1):18-21.
- [7] 齐龙,马旭,张小超. 基于 BP 网络的植物病害彩色图像的分割技术[J]. **吉林大学学报:工学版**, 2006, 36(2):126-129.
- [8] 左志强,陈永进,慈春令. 基于 MATLAB 下的改进 BP 算法[J]. **燕山大学学报**, 2007, 25(12):101-104.
- [9] 王磊,寥晓锋. 基于改进 BP 算法的入侵检测神经网络方法[J]. **计算机工程与应用**, 2004, 40(31):69-71.
- [10] YAM Y F, CHOW W S. A weight initialization method for improving training speed in feed-forward neural network[J]. **Neurocomputing**, 2000, 30:219-232.
- [11] 李义宝,张学勇,马建国,等. 基于 BP 神经网络的改进算法研究[J]. **合肥工业大学学报:自然科学版**, 2005, 28(6):668-67.

[编辑:李辉]