

基于遗传神经网络的苹果颜色实时分级方法

李庆中 张漫 汪懋华

(中国农业大学电子电力工程学院, 北京 100083)

摘要 介绍了苹果颜色自动分级系统的硬件组成, 确定了苹果颜色特征的提取方法, 利用遗传算法实现了多层前向神经网络识别器的学习设计, 实现了苹果颜色的实时分级, 并通过实验验证了方法的有效性. 试验结果表明, 颜色分级识别准确率在90%以上, 分级一个苹果所用的时间为150ms.

关键词 计算机视觉 颜色 苹果 遗传算法 神经网络 实时分级 图象处理

中图法分类号: S106-39 TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2000)09-0779-06

Real-Time Apple Color Grading Based on Genetic Neural Network

LI Qing-zhong, ZHANG Man, WANG Mao-hua

(Power and Electronics Engineering College, China Agriculture University, Beijing 100083)

Abstract Color is one of the most significant inspection criteria related to apple external quality. In this paper, a computer vision experimental system for apple color estimation was first described. The system included a single-lane conveyor, an apple illumination chamber, and the hardware for apple image acquisition and procession. A method of using HSI color system and neural network techniques for apple color inspection was developed. A GA-based training algorithm was introduced to find optimal structure or the number of hidden layer nodes and connection weights of artificial neural network. The results of experiment show that the approach is effective for real-time color grading and is accurate. The vision system achieved over 90% accuracy in color classification for apples by representing features with hue histograms and applying artificial neural network. The executing time of microcomputer for grading of one apple is 150ms.

Keywords Computer vision, Color, Apple, Genetic algorithm, Neural network, Real-time grading, Image processing

0 引言

颜色是衡量水果外部品质的一个重要指标, 高品质的水果一般具有着色好, 且均匀的特征, 此外, 水果的颜色也间接反映了水果的成熟度和内部品质. 国内外研究者在农产品的颜色检测方面已做了大量的研究工作, 如 Neuman 等人利用 R、G、B 三分量的均值实现了小麦的自动分组^[1]; Miller 与 Delwiche 利用颜色的差异进行了桃子表面缺陷的自动检测研究^[2]; Tao 等利用基于色度特征的统计识别算法完成了苹果、土豆的颜色分级^[3]; 许献成等

利用颜色特征研究了落花生仁的自动分选^[4]; 张建平对基于计算机视觉的黄烟颜色分选进行了研究^[5]等等. 目前, 国外已基本实现了水果的颜色自动分级. 在国内, 徐娟、何东健等在水果颜色检测方面也做了大量的研究工作^[6,7], 但由于硬件条件的限制, 目前仍没有商品化的在线检测系统出现, 我国目前仍采用人工进行水果颜色分级. 人工颜色分级不仅劳动强度大, 而且用眼睛衡量着色率, 缺乏客观性和准确性, 很难保证高品质水果着色率衡量的一致性. 本文探讨了苹果颜色实时检测视觉系统的硬件组成以及有效的颜色检测模型和识别算法, 并通过实验对其有效性进行了验证.

1 苹果颜色在线检测硬件系统

为实现苹果颜色的在线实时检测,本文采用如图1所示的硬件系统.

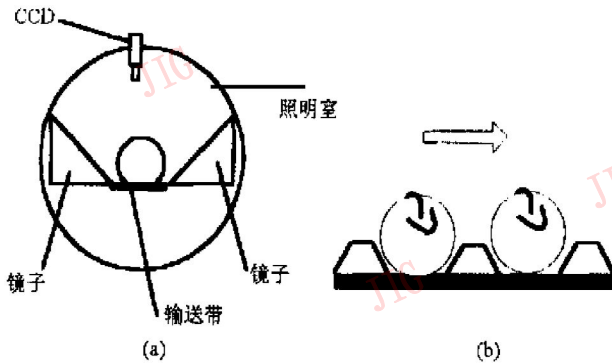


图1 苹果颜色、形状检测硬件系统组成示意图

该系统由输送机构、照明室和计算机视觉系统组成. 输送带为琴键式结构, 输送带两侧装有与水平面成 45° 角的两面镜子, 由此保证输送带上的彩色 CCD 摄像机可一次摄取每个苹果的三个面的彩色图象信息, 这样可基本保证颜色检测全面性的要求, 且在线实现简单. 摄取的图象经过图象采集卡转换为数字图象信息, 直接传送至主机内存, 以便进行相应的图象处理和识别. 图2是摄像机一次摄取的一个苹果三个面的图象, 这种系统结构能基本保证苹果表面颜色测量的整体性要求.



图2 摄像机提取的一个苹果的图象

2 颜色特征提取方法

自然界中的任何颜色都是由物体的反射光特性决定的, 因此, 物体呈现的颜色取决于光源特性和物体表面的物理、化学特性. 为了对颜色进行正确合理的测定、描述和评价, 人们建立了许多颜色模型, 但各个模型都具有自己的特点, 在实际应用中, 最常用的模型有以下两种:

(1) R、G、B 颜色模型

这是彩色电子成像设备中常用的格式, 彩色数字图象中的每个象素点分别对应于 3byte 的 R、G、B

值, 三色不同值的混合就形成了大自然中的各种色彩. 这种方式适合于颜色的电子采集、处理和显示.

(2) H、S、I 颜色模型

这是 Munseu 提出的彩色系统格式^[8], 此方式反映了人类观察彩色的方式. 在 H、S、I 格式中, I 表示强度或亮度, 它反映了象素的整体亮度, 而不管是什么颜色. 另外, 包含彩色信息的两个分量是色度 (H) 和饱和度 (S), 其中色度反映了该彩色最接近什么光谱波长的光或颜色, 它是用角度描述的. 饱和度是色环的圆心到彩色点的距离, 在环的圆周上的是纯的或称为饱和的颜色, 其饱和度为 1, 在中心点为中性影调, 即饱和度为 0, 从 R、G、B 格式到 H、S、I 格式的转换公式为

$$I = \frac{R + G + B}{3} \quad (1)$$

$$H = \cos^{-1} \left[\frac{\frac{1}{2}[(R - G) + (R - B)]}{\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \right] \quad (2)$$

$$S = 1 - \frac{3 \min(R, G, B)}{R + G + B} \quad (3)$$

在以上两种彩色模型中, H、S、I 模型与人眼感觉颜色的原理相似, 符合人的视觉规律, 因此在水果颜色检测研究中, 我们采用 H、S、I 模型, 即利用色度 (H) 图象进行水果的颜色检测和分级. 此法的优点是不需要对象素的 R、G、B 分量逐一进行处理, 而只是对反映颜色区别的色度图象进行分析、处理, 这样可大大缩短彩色图象的处理时间, 故适用于实时检测的场合. 在实际检测过程中, 色度可由以下公式确定^[3]

$$H = \begin{cases} \left| 90^\circ + \tan^{-1} \left| \frac{2R - G - B}{\sqrt{3}(G - B)} \right| + 180^\circ \right| \times \frac{255}{360} & G > B \\ \left| 90^\circ + \tan^{-1} \left| \frac{2R - G - B}{\sqrt{3}(G - B)} \right| \right| \times \frac{255}{360} & G < B \\ 255^\circ & \text{其它} \end{cases} \quad (4)$$

式中 R、G、B 分别为红、绿、蓝三原色的刺激值.

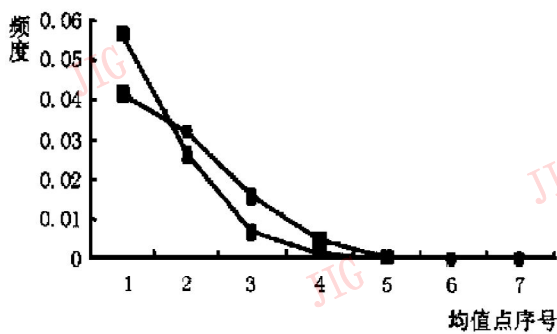
彩色图象的色度直方图反映了水果表面颜色的组成和分布情况, 因此, 可根据色度直方图提取其颜色特征参数, 然后利用适当的分类器完成水果的颜色分级. Tao 曾利用 H、S、I 模型表示法来获取苹果、土豆的色度直方图^[3], 并直接利用直方图的离散均值作为颜色特征参数, 然后利用多元线性统计分析法实现了苹果、土豆的颜色检测和分级. 因为采用传统的统计分类器, 必须通过对大量样本向量的统计规律分析才能得出分级的标准, 因此, 影响分级过程的效率, 且适应性较差. 为此, 本研究拟采用人工

神经网络的模式分类器进行苹果分级.

根据以上思想, 首先对不同着色等级苹果的色度直方图进行了研究. 为计算果实部分的 3 个面图象的色度信息. 根据背景为黑色, 故可用彩色图象的 R 分量, 来确定果实部分的边界, 然后再将果实部分的颜色信息, 由 R、G、B 转换为 H、I、S 格式. 具体步骤如下:

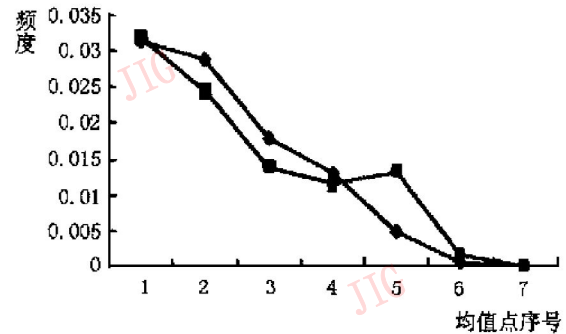
- (1) 对 R 分量图象进行快速中值滤波;
- (2) 用 Otsu 算法把图象转化为二值图象;
- (3) 对果实部分, 利用公式(4) 计算各象素的色度值, 形成色度图象.

通过对各种着色等级苹果的直方图考察发现, 各

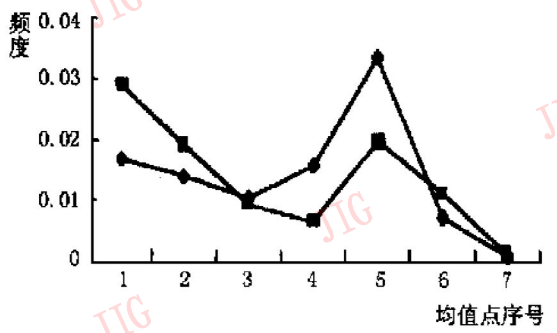


(a) 优等品

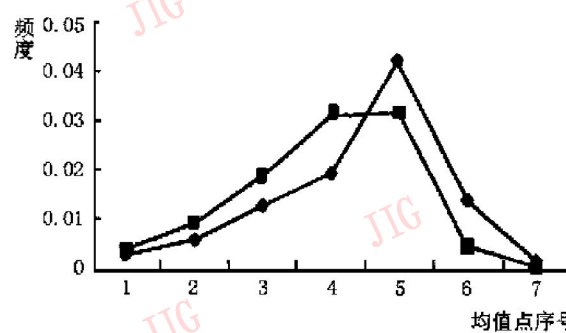
等级水果的色度直方图分布, 皆在 0~ 70°范围内. 因此, 可把此范围每隔 10°为一子区间, 进行划分, 再求每一子区间上, 频度的均值, 由这 7 个点可近似地代替原始的色度直方图. 由该 7 个均值点构成的各着色等级苹果的色度直方图曲线如图 3 所示. 图中横坐标代表 0~ 70°范围内, 7 个均值点的序号, 图中的两条曲线表示着色等级相同的两个典型苹果. 由图 3 可看出, 着色度好时, 红色色度附近的范围, 频度呈现峰值; 而着色度较差时, 在绿色色度附近的范围内, 频度呈现峰值. 因此, 可选用这 7 个频度均值作为水果颜色分级的特征参数, 然后再由后面设计的人工神经网络分类器完成水果颜色的自动分级.



(b) 一等品



(c) 二等品



(b) 等外品

图 3 7 个均值点构成的各等级苹果的色度直方图曲线

3 遗传神经网络的苹果颜色分级算法

3.1 BP 算法的缺点

多层前向网络作为一个由多个非线性元件, 大规模互联构成的动力系统, 其行为主要由两方面因素决定: 一是拓扑结构, 即网络结点的个数和互联方式; 二是结点间的联结权值. Cybenko 从理论上证明了三层前向神经网络可以任意精度地逼近任一连续函数^[9], 因此, 苹果分级分类器采用三层前向神经网络. 对于一个三层前向神经网络, 其输入层和输出层的结点数是由实际问题决定的, 因此, 其拓扑结构主要是隐层结点的数目. 由于传统的 BP 训练算法, 是

在固定结构(隐层结点数)下, 联结权值的学习算法, 因此其主要缺点有:

(1) 学习和收敛速度太慢, 存在学习精度和学习速度之间的矛盾.

(2) 由于采用误差导数指导下的学习, 从本质上说, 是属于局部寻优, 在存在许多局部极小值的情况下, 易陷于局部极小点, 故很难保证最后收敛到全局最优.

(3) 因采用固定结构(隐层结点数)学习方法, 即在学习之前, 就已经排除了许多可行解空间, 故降低了其学习能力.

针对以上缺点, 本文采用遗传算法来实现三层前向神经网络的学习和结构设计.

3.2 遗传算法在3层前向神经网络设计中的实现

遗传算法(GA)是一种基于自然选择和自然遗传的全局优化算法,它采用从自然界选择、遗传操作中抽象出来的几个算子,对参数编码的字符串进行遗传操作,而每一字符串则对应于一个可行解,由于这种遗传操作是对多个可行解组成的群体(Population)进行的,故在进化过程中,可以并行地对解空间的不同区域进行搜索,并可使搜索趋于全局最优解,而不会陷于局部极小解.正是由于这种内在的优良特性,GA可广泛应用于各种优化问题.前向多层神经网络的训练问题,实际上是一个优化问题,即寻找神经网络最优的权值和结构,并使最后建成的神经网络的各个输出值和对应的理想目标值的差成为最小的问题.因此,可以由GA完成.遗传神经网络的设计主要包括以下4个方面的内容:

① 随机生成由一组初始可行解构成的初始群体,每一可行解即为一个个体,对于遗传神经网络,一个个体就是一个神经网络;

② 将初始解参量转化成字符串的编码.在本研究中,即需要把每个神经网络的联结权值、阈值和隐层结点数等进行编码,而形成一字符串;

③ 确定一组对个体进行遗传操作的算子,包括选择算子、交叉算子和变异算子;

④ 确定衡量每一个体适应度(Fitness)大小的适应度函数或目标函数.

下面具体介绍各部分的设计过程:

(1) 编码方式

编码方式采用文献[10]中介绍的方法,即采用以隐层结点为基本基因型的方式:对于三层前向神经网络,其每一隐层结点连同其输入层、输出层的连接权值和阈值均作为一个整体参与相应的遗传操作,而每一个体(神经网络)的编码,就像一个“隐结点包”的队列,每一个体字符串的具体构成则如图4所示,其中,各权值和阈值均采用十进制实数方式.

(2) 遗传操作算子的定义

① 复制算子 同传统复制算子一样,即采用与适应度成比例的概率来选择个体.为了保证最优个体在进化过程中不被破坏,可以采取新一代群体中适应度最小的个体直接用上一代中适应度最大的个体取代的方法.

② 交叉算子 与传统的交叉算子不同,其交换的不是任意位的组合,而是在个体(神经网络)之间交换隐层结点,每一结点包含如图4所示的与输入层、输出层连接的权值和阈值,且参与交叉的两个个体的交叉点可以不同,相互交换的结点数(基因数)也可不同,图5是交叉操作示意图,图中 x_1, x_2 代表个体的两个输入值, y 代表个体的输出值.可见,这种交叉算子可起到改变隐层结点数,即改变神经网络结构的作用.在具体交叉过程中,首先按交叉概率选取交叉的一对个体,然后分别对每一个体随机确定交叉位置,再在各个体交叉位置后剩余的结点数内,随机确定交叉的结点数.

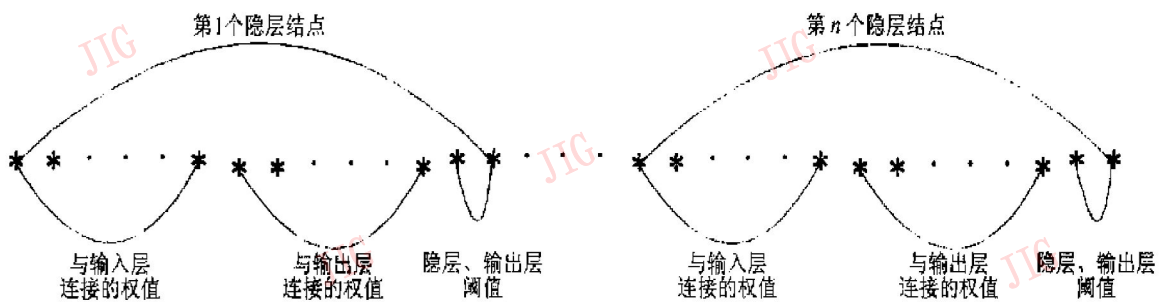


图4 每一个体(神经网络)的编码方式

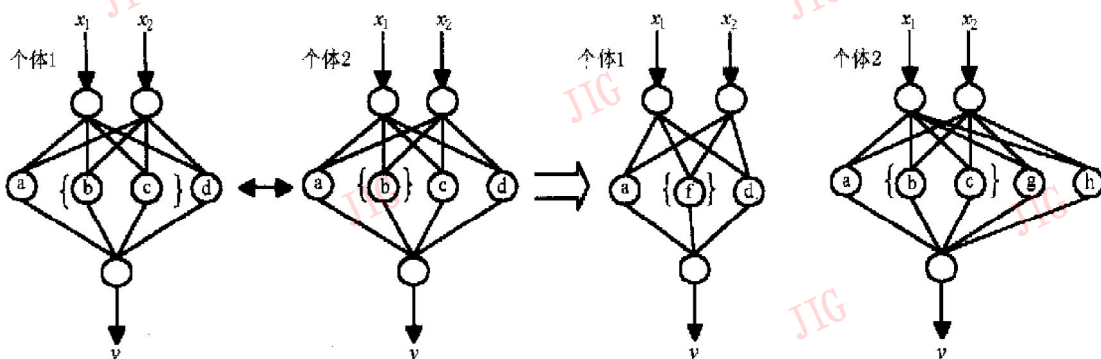


图5 交叉操作示意图

③ 变异算子 其作用是在个体结构一定的前提下, 加入随机扰动, 以寻找最优解, 本文中, 采取了向网络连接权值中加入零均值高斯白噪声的方法。

(3) 适应度函数的确定

对任一个体, 其目标函数定为神经网络输出值的均方误差和网络结构复杂程度两项的和, 定义如下

$$v = \frac{1}{mP} \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^m (d_{pj} - y_{pj})^2 + \mu h \quad (5)$$

式中, m 为神经网络输出层结点数; P 为训练样本数目; μ 为系数; h 为隐层结点数; d_{pj} 为网络期望输出值; y_{pj} 为网络实际输出值. 因而当目标函数确定后, 再经过如下的指数变换即得到适应度函数 f

$$f = e^{kv} \quad (6)$$

式中, k 取 -20.

三层前向神经网络遗传算法设计程序流程为:

- (1) 随机产生初始群体;
- (2) 统计群体中各个体的适应度, 并记下适应度最大的个体;
- (3) 利用复制算子产生中间群体;
- (4) 对中间群体进行交叉和变异操作, 以形成新群体;
- (5) 统计新群体的适应度值, 并用上代中适应度最大的个体取代新群体中适应度最小的个体, 从而形成新一代;
- (6) 根据终止条件判断是否结束, 否则转(2).

4 实验结果与分析

首先利用上述遗传算法对用于苹果颜色识别的三层前向神经网络进行学习设计. 对用于苹果颜色分级的遗传神经网络, 其输入结点数是 7, 则对应 7 个色度平均值; 输出结点数为 4, 分别对应苹果颜色的 4 个等级. 初始隐层结点数取 3, 最大隐层结点数取 15, 群体规模取 20, 交叉概率取 0.10, 变异概率取 0.05. 对从市场上买来红富士苹果, 首先用人工将其据颜色分为 4 级, 每级选 15 个作为训练样本, 然后利用遗传算法对苹果颜色进行识别训练.

本文训练的结果是隐层结点数为 6, 所以神经网络结构为 7-6-4 型, 遗传进化的代数为 1 268 次, 在联想 PIII 500 微机上的训练时间仅为 123s. 若用传统 BP 算法训练 6 个隐层结点的神经网络的权值, 训练次数则为 120 000 次, 且所用的时间为 4.8min.

最后, 利用训练好的神经网络对苹果颜色进行了分级测试试验, 测试样本 80 个, 每级为 20 个. 表 1 是神经网络分级的试验结果. 可见总的正确识别率不低于 90%. 在联想 PIII 500 微机, 颜色分级一个苹果的时间为 110ms, 图象采集卡采集一幅图象的时间为 40ms, 可见, 该方法能达到实时的分级速度 (> 3~4 个/秒). 另有 10% 识别错误, 其产生分级误差的主要原因是摄像机不能摄取水果整个表面的颜色信息.

表 1 神经网络苹果颜色分级试验结果(个数)

人工分级	机器分级			
	优等品	一等品	二等品	等外品
优等品	19	1		
一等品		18	2	
二等品			19	1
等外品				20

5 结 论

本文确定的苹果颜色特征参数, 可充分反映苹果的表面颜色; 利用遗传算法进行三层前向神经网络的权值学习和隐结点设计, 可有效缩短训练时间. 试验结果表明: 苹果颜色分级精度大于 90%, 分级每个苹果的时间为 150ms, 基于满足实时分级的要求. 目前有效的苹果外部品质综合分级算法仍在研究过程中.

参 考 文 献

- 1 Neuman M R, Sapirstein H D, Shwedvk E *et al.* Wheat grain color analysis by digital image processing II. Wheat Class Discrimination, Journal of Cereal Science, 1989, 10: 183~ 188.
- 2 Miller B K, Delwiche M J. A color vision system for peach grading. Transaction of the ASAE, 1989, 32(4): 1484~ 1490.
- 3 Tao Y, Heinemann P H, Varghese Z *et al.* Machine vision for color inspection of potatoes and apples. Transaction of the ASAE, 1995, 38(5): 1555~ 1561.
- 4 许献成, 李芳繁. 使用彩色机器视觉选别落花生仁. 农业工程学报, 1994, 40(4): 65~ 76.
- 5 张建平, 吴守一等. 烟叶颜色测量与分析. 江苏工学院学报, 1993, 14(4): 7~ 13.
- 6 徐娟, 汪懋华. 苹果分选图象信息并行处理算法的实现. 农业机械学报, 1997, 28(2): 101~ 106.
- 7 何东健, 杨青等. 果实表面颜色计算机视觉分级技术研究. 农业工程学报, 1998, 14(3): 202~ 205.
- 8 Kenneth R, Castleman 著. 数字图象处理. 朱志刚等译. 北京: 电子工业出版社, 1998: 473~ 483.

- 9 Cybenko G. Approximations by superposition of sigmoidal function. Math Count Signal & System, 1989, 2: 303~ 314.
- 10 王强, 邵惠鹤等. 神经网络的遗传设计及其在甲醛生产建模及优化中的应用. 上海交通大学学报, 1996, 30(4): 143~ 150.



李庆中 中国农业大学(东区)电子电力工程学院副教授, 博士研究生. 主要从事计算机图象处理、农业生物模式识别方面的研究.



张漫 中国农业大学(东区)电子电力工程学院硕士研究生. 主要从事农业采感图象处理方面的研究.

汪懋华 教授, 博士生导师, 工程院院士. 主要从事计算机图象处理、农业生物模式识别及精细农业(Precision Agriculture)方面的研究.

第一届中国虚拟现实与可视化学术会议(CCVRV'01)

征文通知

由中国计算机学会虚拟现实与可视化技术专业委员会主办、装甲兵工程学院与北京航空航天大学承办的第一届虚拟现实与可视化技术及应用学术会议将于2001年11月11~12日在北京举行. 本次会议将集聚国内从事虚拟现实与可视化技术的研究人员、工程技术人员和相关厂商, 广泛开展学术交流、研究发展战略、推动成果转化、共同促进虚拟现实与可视化技术的发展与应用.

本次大会的论文集将由国内著名出版社正式出版, 其中的优秀论文, 将推荐在国内一流刊物上发表. 会议将邀请国内外著名专家到会作专题报告, 同时将举办科研成果和最新产品展示会, 为各研究开发单位及有关厂商展示自己的成果、产品提供场所.

一、征文范围(包括但不限于)

建模技术 动画技术 可视化技术 多媒体技术 人机交互技术
 虚拟制造 仿真技术 分布式系统 空间化声音 模式识别应用
 图形平台 网络技术 遥操作技术 VRML 技术 逼真图形图像技术
 可视化地理信息系统 基于图像的视景生成技术 虚拟现实与可视化应用系统

二、征文要求

- 1、论文未被其它会议、期刊录用或发表;
- 2、来稿一式三份, 并提交电子文档(word 格式) 光盘;
- 3、论文包含: 题目、中英文摘要、正文、参考文献等;
- 4、正式论文格式参看论文录用通知;
- 5、投稿者请务必写清姓名、单位、通信地址、电话、及 E-mail 地址;

三、重要日期

征文截止日期: 2001 年 4 月 25 日(收到日期)
 录用通知日期: 2001 年 6 月 25 日(发出日期)

四、来稿联系方式

联系单位: 北京航空航天大学 6863 信箱
 联系地址: 北京市海淀区学院路 37 号
 邮政编码: 100083
 联系人: 吴威
 电话: (010) 82317616、(010) 82317644
 E-mail: wuwei@vrlab.buaa.edu.cn