

一种基于贝叶斯多分类器组合的视频人脸取证系统设计

周建华¹, 范强¹, 王加阳²

1. 湖南警察学院, 长沙 410138
2. 中南大学信息科学与工程学院, 长沙 410083

摘要 贝叶斯多分类器组合模型可以表示图像间的条件概率和限定语义, 并依此预测用户查询和序列图像间的相似度, 是解决视频序列图像信息检索的有效手段。为了提高视频人脸取证系统中人脸图像匹配速度和准确度, 提出和设计了一种基于贝叶斯多分类器的视频人脸跟踪识别取证系统。给出了系统的总体结构、主要模块的设计, 以及采用的关键技术。实验中训练数据为有限的静态人脸图像, 测试数据为视频图像序列。实验表明, 该系统识别效率高、取证能力强、容错性好, 在视频人脸分类中具有较好的效果, 为动静结合人脸图像分类提供了一定的依据。

关键词 贝叶斯网络; 人脸识别; 视频取证; 姿势判别

中图分类号 TP393.08

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.35.011

A Forensics System of Video Human Face Based on Bayesian Multi-classifier

ZHOU Jianhua¹, FAN Qiang¹, WANG Jiayang²

1. Hunan Police Academy, Changsha 410138, China
2. College of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China

Abstract Bayesian multi-classifier model are the suitable model to deal with the problem of vector sequence images information retrieval, because they are the appropriate tools to store the conditional probabilities and limited meanings among terms and compute the similarity between user query and sequence images. In order to improve the speed and precision of human face image retrieval in the forensics system, a forensics system of vector human face based on Bayesian multi-classifier is proposed and designed. The overall structure, the main module design, and key technologies are given. In the experiment, trained data are generated from the limited static human face images, and tested data are originated from the video frequency image sequence. The experimental results show that the system has both quick recognition speed and high forensics capacity with the good capability of fault tolerance, and the method gains the good performance on vector face classification, and it provides a certain basis for classifying human face image both dynamically and statically.

Keywords Bayesian network; human face recognition; video surveillance forensics; pose discrimination

0 引言

随着视频监控在各大中城市道路及公共场所的广泛部署, 对于监控视频的海量信息的智能化处理也提上议事日程。基于视频的行为人脸检测、跟踪及取证就是监控视频智能信息系统中应用之一, 在社会治安和公安刑侦等方面有广泛和重要的应用。人脸作为行为人的重要标志, 对人脸定

位、跟踪及取证的研究具有很高的价值。为此许多研究人员已提出各自的人脸识别算法。这些算法都各有优点, 但也有不足之处。Kahumanu 等^[1]只考虑了人体运动状态, 忽视了人体静止状态的情形, 致使当人脸静止的时候识别率下降, 提出的运动检测算法运算量大, 普通服务器无法保证实时性。刘瑾等^[2]提出视频场景的中心人脸检测跟踪算法, 常因人脸

收稿日期: 2011-09-28; 修回日期: 2011-11-22

基金项目: 湖南省科技厅计划项目(2011FJ6040); 湖南省哲学社会科学基金项目(11YBA123); 湖南省教育科学“十二五”规划项目(XJK011CXJ003)

作者简介: 周建华, 副教授, 研究方向为网络犯罪取证, 电子邮箱: zjh200805@126.com

不能出现在视频图像中心而丢失数据。周建华^[3]提出用神经网络识别特征脸的方法,虽能达到较好识别精度,但算法复杂,满足不了视频检测实时性要求,还有一些如主成分分析、线性判别分析、隐马尔可夫模型等算法,主要应用于静态人脸识别中,由于实时性等问题在视频取证中应用很少。本文采用多模式二次融合方法构造了多个视频人脸朴素贝叶斯分类器,按照视频人脸图像证据链要求,设计了一个基于多朴素贝叶斯分类器的视频动态人脸取证系统框架,并开发了系统原型。由于朴素贝叶斯算法在图像过滤中的良好性能,特别是贝叶斯算法针对动态变化的视频图像自适应能力,提高图像各属性值的过滤精度和对比准确度,可较好解决人脸动态图像盲取证系统中对图像准确匹配问题。

1 贝叶斯理论和算法

贝叶斯理论是海量数据挖掘领域中一种常用的有指导分类方法^[4]。贝叶斯定理认为一个事件会不会发生取决于该事件在先验分布中已经发生过的次数,是计算概率的一种方法,该理论在许多需要具备自学能力的智能系统中得到了广泛应用。

1.1 贝叶斯网络优势分析

贝叶斯网络用图形化方法来表示、推理和运算概率知识,能解决基于规则的系统在许多概念上和计算上遇到的困难。贝叶斯网络与一般知识表示方法不同的是对于问题域的建模,当条件或行为等发生变化时,不用对模型进行修正。结合统计学方法,在数据表示、数据处理、规则挖掘、预测推理等方面具有众多的优点,表现如下。

(1) 贝叶斯网络具有双向学习与推理能力,能将预测和外延的推理联合起来,从而解决专家系统中所遇到的大量问题^[5]。贝叶斯网络是一种概率推理技术,使用概率理论来处理在描述不同知识成份的条件相关而产生的不确定性,提供了一种将知识直觉的图解可视化的方法。

(2) 贝叶斯网络将多元知识图解为可视化概率不确定性知识关联表达与因果推理模型,可解析网络节点变量之间条件相关关系及因果关系,朴素贝叶斯建立在一个“强独立性假设”的基础之上,类中对象各属性之间是相互独立的。

(3) 贝叶斯网络能有效地进行多种源信息表达、融合及模糊概率推理,适合多源异类及不确定信息条件下的知识表达和推理。

(4) 贝叶斯网络结合其他建模技术,利用所有数据对模型进行学习和训练,使得贝叶斯网络能避免过度拟合,能保证模型的稳健性。

贝叶斯网络不但能够以图形方式清晰地描述决策的因果关系,而且综合先验与后验信息进行不确定性的推理^[6]。在视频人脸识别中,通过视频监控系统中提取到序列的视频图像信息通常具有复杂背景、图像抖动、重影及多光源重叠等问题,如何实时根据收集到的视频模糊图像信息进行及时有效

地推理分类是一个函待解决的问题,应用贝叶斯网络处理视频监控人脸识别问题是一个较好的解决方法。

1.2 朴素贝叶斯分类

朴素贝叶斯分类基本思想可概括为:利用类别的先验概率与属性分布对于类别的条件概率来计算未知记录属于某一类别的概率。给定一个具有 Φ 个属性的视频图像测试实例 A_1, A_2, \dots, A_Φ , 假定这 Φ 个属性值有条件地相互独立(即属性间不存在依赖关系),均为离散数值,所有待分类的记录都用一个 i 维特征向量 (C_1, C_2, \dots, C_i) 来表示,其中第 i 个属性分别表示记录的第 i 个特征。分类任务为预测测试集中每一个例子的类别。给定一个具体的例子,其属性值从 a_1 到 a_Φ , 该例子属于某一个类 c_i 的概率为 $P(C=c_i|A_1=a_1, A_2=a_2, \dots, A_\Phi=a_\Phi)$ 。很明显,如果该例子属于的某一个类概率值具有最大值,那么该例子就属于这个类别。用贝叶斯定理表示为

$$P(A_1=a_1, A_2=a_2, \dots, A_\Phi=a_\Phi) = \frac{P(A_1=a_1, A_2=a_2, \dots, A_\Phi=a_\Phi|C=c_i) \cdot P(C=c_i)}{P(A_1=a_1, A_2=a_2, \dots, A_\Phi=a_\Phi)} \quad (1)$$

其中, $P(C=c_i)$ 为先验概率,可以从视频人脸图像训练数据集中计算得到。 $P(C=c_i|A_1=a_1, A_2=a_2, \dots, A_\Phi=a_\Phi)$ 与任何 C_i 都无关,将式(1)简化为

$$P(A_1=a_1, A_2=a_2, \dots, A_\Phi=a_\Phi) = \alpha \cdot P(A_1=a_1, A_2=a_2, \dots, A_\Phi=a_\Phi|C=c_i) \cdot P(C=c_i) \quad (2)$$

其中 α 定义为正则化因子,先验概率独立于训练样本数据,而后验概率则反映了样本数据对类 C_i 的影响,根据概率的链规则,假定属性值是独立的,式(2)可以表示为

$$P(A_1=a_1, A_2=a_2, \dots, A_\Phi=a_\Phi|C=c_i) = \prod P(A_i=a_i|C=c_i) \quad (3)$$

将式(3)代入式(2)中,可计算得到朴素贝叶斯分类器所使用的方法,为

$$\eta_{NB} = \arg \max_{c_i \in C} \{ \alpha \cdot P(C=c_i) \cdot \prod P(A_i=a_i|C=c_i) \} \quad (4)$$

其中, η_{NB} 为朴素贝叶斯分类器输出目标值。朴素贝叶斯分类的目的是计算出类结点 C 的后验概率值,从中选择后验概率最大类变量值 C_i 作为实例分类值。理论上讲,式(4)相对于其他分类算法,最大优点就是多源信息表达方便,融合及模糊概率推理可以自学习方式进行,可得到最小误分类率。

2 应用贝叶斯算法的视频人脸识别

根据视频人脸取证系统需求,本文设计了基于朴素贝叶斯的视频人脸识别取证框架结构,如图1所示。该系统对个人脸识别取证的研究主要是围绕特征提取和特征选择展开的。

2.1 基于贝叶斯的视频人脸图像取证流程

该系统由4个模块构成,分别是可控摄像机组模块、视频图像处理模块、终端处理模块及证据处理模块。可控摄像机组负责运动人体图像的采集,经图像信号传输系统处理后

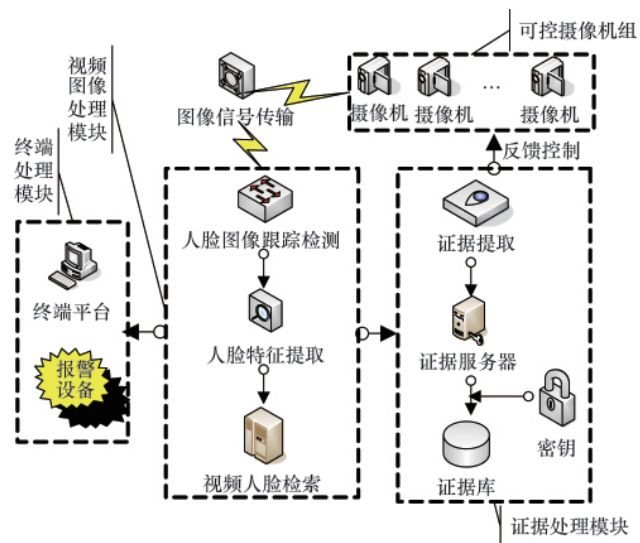


图 1 视频人脸取证系统框架
Fig. 1 Framework of video face forensics system

送视频图像处理模块,进行人脸图像跟踪检测、特征提取及在人脸库中检索视频人脸图形,当检测到可疑人脸(人脸库中黑名单)时在终端平台报警,立即启动证据处理模块工作,进行人脸图像证据提取,经证据服务器处理加密签名后送证据数据库保存。

2.2 视频图像处理模块

在人脸识别问题中,图片的预处理工作是非常重要的,这里主要进行了人脸的区域分割、灰度均衡、背景消除等预处理过程。由于本文的重点是介绍贝叶斯识别方法,所以其他的细节不过多描述。

2.2.1 人脸图像跟踪检测

人脸图像跟踪检测的主要任务是在输入视频图像序列中确定某个具体人脸的运动轨迹、大小和形状变化的过程,其作用主要是解决人脸检测与运动预测两个基本问题。人脸检测模块完成检测人脸位置、大小等实时状态信息;运动预测模块根据活动帧态和前一帧态,来预测人脸的下一个可能状态,目的是为下一次检测提供位置信息,减小搜索的范围。对于连续视频序列,由于相邻帧中人脸的形状位置大小等状态变化不大,不必对每一帧都进行检测识别,只需进行适当的跟踪,从而减少运算量,缩短时间,保证了人脸图像跟踪实时性。

2.2.2 运动人脸特征提取

本文视频序列图像中采用主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)方法对人脸图像进行特征提取。理想的人脸特征点跟踪,不仅能跟踪头部刚体运动轨迹,还应跟踪到详细的面部表情变化。本文方法中主要是跟踪有代表性的特征点,通过眉毛、眼睛、嘴、鼻子及其特征点权重来识别样本人脸。

给定人脸图像中特征点周围每一个像素点 p , 设其邻域

S_p 内的点为 $t(t \in S_p)$, 人脸特征点权重计算步骤如下。

第 1 步 计算出邻域内各点 t 与邻域内四周其他各点的灰度均方差, 即

$$\theta_{pt} = \sqrt{\frac{\sum_{t' \in S_p} (a'_t - a_t)^2}{np - 1}} \quad (5)$$

第 2 步 运用高斯核函数将该均方差投影到核空间, 即

$$\pi_{pt} = \exp \left[- \left(\frac{\sum_{t \in S_p} \theta_{pt}}{np} \right)^2 \right] \quad (6)$$

第 3 步 归一化相应特征权重, 即:

$$w_{pt} = \frac{\pi_{pt}}{\sum_{t \in S_p} \pi_{pt}} \quad (7)$$

其中, θ_{pt} 是以点 p 为中心点的邻域 S_p 中的点 t 相对于该邻域四周各点的均方差; π_{pt} 为相对应均方差核空间中的投影值; w_{pt} 表示该点的权重值; a_t 为点 t 的灰度值; n_p 表示邻域 S_p 中像素点个数。通过式(5)、式(6)、式(7)计算可以将邻域 S_p 中相似的点归并成一类, 再根据该邻域 n_p 中优势类别灰度值来更新当前像素点 t 的灰度值。如图 2 所示。考虑某特征点颜色 $RGB (R, G, B)$, 根据灰度值的浮点算法 $Gray = 0.3R + 0.59G + 0.11B$, 计算各特征点灰度值, 根据权重算法 $g_p = \sum_{t \in S_p} a_t w_{pt}$ 计算得到当前像素点权重。

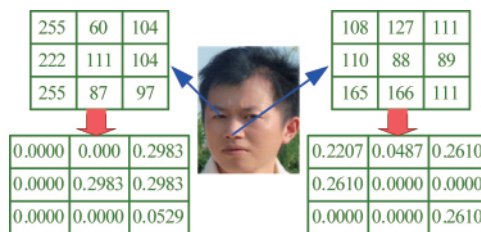


图 2 人脸图像中眼睛与鼻子各权重计算值
Fig. 2 Weight values of eye and nose on a face image

将 2 维人脸灰度矩阵的各行级联可以得到一个 1 维的长特征向量。假定人脸样本库中有 $K \cdot L$ 人脸图像灰度矩阵的长向量 $A_i (A_i$ 为像素灰度值), 则: $\zeta_i = [A_1, A_2, \dots, A_i]^T$, 其中 i 定义域为 $\{1, 2, \dots, K\}$ 。令 k 为 $\{\zeta_i, i=1, 2, \dots, K\}$ 的均值, 换种方式表示为 $k = (\zeta_1 + \zeta_2 + \dots + \zeta_i) / K$ 。经 PCA 方法处理后, 取前 100 个特征值和特征向量构成特征空间, 令 $B_m = \zeta_i^T P_n (P_n$ 为某一幅人脸图像向量与图像 K 均值的差, $1 \leq i \leq 100$), 则 $\Omega_n = [B_{n1}, B_{n2}, \dots, B_{n100}]^T$ 为该图像在特征空间中投影生成的新图像特征向量, 它只有 100 维的长度, 且保留了原图像 95% 以上的信息。

2.3 基于贝叶斯方法视频人脸匹配算法

根据贝叶斯方法在视频人脸检索中应用特点, 本文设计了基于朴素贝叶斯多分类器的人脸匹配算法, 其流程结构如

图 3 所示。具体算法为下面 5 个步骤。

第 1 步 建立人脸类别模型:当运动人脸图像在特征空间投影生成新训练序列送达时,检测每帧图像中人脸特征,反复自学习更新识别模型,逐步进化为类别信息人脸类别模型,使用多个训练视频序列对初始模型进行增量学习,得到当前训练视频序列所对应的人脸类别模型。

第 2 步 约简视频图像样本:从训练集中采集视频人脸图像样本空间中的特征值集,对决策表中空值属性处理,去除冗余的属性和完全依赖属性,调用属性约简算法进行训练,求近似独立的多组人脸图像属性约简 R 。

第 3 步 多模式贝叶斯分类:导入测试集序列图像数据,采用多个图模式识别方法,设 Z 为待分模式,类别集合为 $V=[v_1, v_2, \dots, v_m]$,有 L 个图模式分类器,记作 $F=\{F_1, F_2, \dots, F_L\}$,根据最小错误率的贝叶斯理论,由后验概率的最大值来决定模式 Z 被分为类 V_1 。以此类推,自学习修正算法和更新算法,构造 n 个贝叶斯分类器。

第 4 步 二次融合处理:设置每个分类器的分类性能参数,建立特征向量库,对人脸图像各部分特征点分类器自加权融合处理,根据各分类器输出结果,采用最大和最小融合规则进行多分类器二次融合处理。

第 5 步 人脸图像分类输出:匹配样本库人脸图像,归档处理后得出分类结果,去除其他图像,提取出样本人脸。

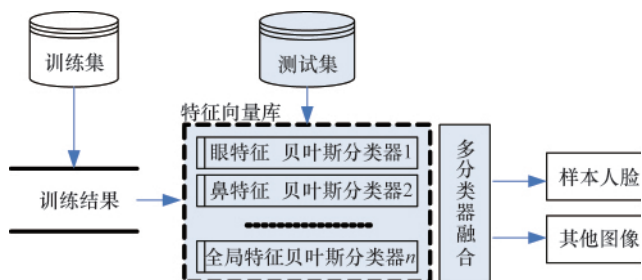


图 3 基于贝叶斯多分类器的视频人脸匹配方法
Fig. 3 Match method based on Bayesian multi-classifier for video face

2.4 证据处理模块

证据处理模块工作流程包括:证据收集、证据获取、证据分析、证据签名及证据保存。证据收集的内容主要包括视频环境图像和人脸图像两大部分。证据获取之后实时安全地提交给证据服务器。为了保证电子图像证据的真实性、保密性、完整性、原始性和不可否认性,本文采用吴琼提出数字图像盲取证技术^[6],向取证图像中嵌入密钥水印标识,通过专用的通信协议对证据进行签名传送,各环节证据链的相互印证,证据服务器在接收到传送的电子证据后,将信息解密并进行签名验证,将取证结果进行筛选、组合和重构,使之能再现整个取证事件的完整细节,并生成一份取证报告,在加盖安全时间戳后将其永久保存于证据库。

2.5 实验结果分析

为检测本文设计的贝叶斯人脸图像匹配算法性能,开发了一个基于朴素贝叶斯视频人脸动态取证的系统原型,系统中贝叶斯多分类器视频人脸匹配算法使用 VC++ 6.0 和 DirectShow 实现,本文实验平台为 Pentium IV2.4 GHz CPU 微机,1GB 内存,Windows XP 操作系统,其运行界面如图 4 所示。获取图像序列时,多个摄像机协同多角度自动焦距式工作,活动目标人由远及近靠近摄像机。图像采集帧率高达 30 帧/s(其他系统最多为 15 帧/s),AVI 格式,图像帧大小为 190×248,64 位彩色。在一般情况下前端可控摄像机组处于待命状态,在检测到有活动目标人时,即进入实时录像。平时以每秒 1 帧(可调节,由终端平台执行)记录图像,在检测到有人活动时,加快至 5 帧/s 或更高(可调节,由终端平台执行),在实时取证阶段,以实时(25 帧/s)方式记录。这样可完整地监视目标人完整运行状态,实时提取运动人脸,系统比对人脸库进行贝叶斯分析,并将取证人脸图像签名传送到证据库。



图 4 基于贝叶斯视频人脸取证系统运行界面
Fig. 4 Running interface of video face forensics system based on Bayesian

实验所用的数据库中训练数据为有限的静态人脸图像,测试数据为视频图像序列,是从数字视频监控系统中得到。具体做法是 200 特征人从监控摄像头前经过,监控系统每人得到 200 幅视频序列图像,组成人脸识别数据库。为了验证本文提出的人脸识别算法的性能,将其与刘小军提出的隐马尔可夫模型的人脸识别算法^[7]进行比较,对本文建立的数据库中的图像进行视频人脸图像检测,得出的部分识别结果如表 1 所示,其中两类算法中的样本数量均设定为 500。

实验发现,本文提出的基于贝叶斯多分类器检测算法在误识率和拒识率均较低,且与人脸图像库的数量关系不明显,趋向稳定。在识别过程中 CPU 的占用率低于 2.5%,说明本文提出的人脸识别算法占用资源较少。在取证系统中应用方面,经过 10000 张人脸图像库的反复测试,识别准确率高于 99.11%,证据入库率 99.07%,其各个参数在合理范围内,可以应用于人脸图像盲取证实际系统中。图 5 为系统在比较复杂背景环境中部分帧识别结果。

表 1 人脸识别算法在系统中的测试结果

Table 1 Test result of human face detection algorithm in the system

待识别人脸数量	隐马尔可夫模型的人脸识别算法			贝叶斯多分类器组合人脸识别算法		
	识别速度/s	误识率/%	拒识率/%	识别速度/s	误识率/%	拒识率/%
7710	0.73	1.07	1.25	0.67	0.71	0.79
9871	0.87	2.50	2.87	0.82	0.95	0.89
6723	0.67	0.87	1.88	0.61	0.67	0.62
5296	0.55	0.62	1.77	0.50	0.52	0.51
7322	0.71	1.78	2.11	0.64	0.78	0.82
8375	0.82	2.03	2.32	0.77	0.81	0.75



图 5 系统部分帧识别结果

Fig. 5 Partial frame recognition results in the system

3 结论

本文结合贝叶斯主动学习将不确定性引入到视频人脸图像多朴素贝叶斯分类器的构造过程,同时挖掘未分配类别人脸图像的样本中的信息,利用贝叶斯网络对于人脸图像属性间的带有不确定性的相互关系进行建模和推理,在大样本视频人脸图像集上的实验结果表明,本文提出的多分类器人脸识别算法表现较优的分类性能,可较好解决视频人脸图像盲取证系统中对图像准确匹配问题。

参考文献 (References)

[1] Kakumanu P, Makrogiannis S, Bourbakis N. A survey of skin-color

modeling and detection methods [J]. *Pattern Recognition*, 2007, 40(3): 1106-1122.

[2] 刘瑾, 徐可欣, 陈小红, 等. 采用图像融合技术的多模式人脸识别[J]. *工程图学学报*, 2007, 28(6): 72-78.

Liu Jin, Xu Kexin, Chen Xiaohong, et al. *Journal of Engineering Graphics*, 2007, 28(6): 72-78.

[3] 周建华. 一种 PCA 和 SVM 多生物特征融合的视频人脸识别 [J]. *佳木斯大学学报: 自然科学版*, 2010, 28(4): 485-488.

Zhou Jianhua. *Journal of Jiamusi University: Natural Science Edition*, 2010, 28(4): 485-488.

[4] 马壮, 杨善林, 胡小建. 贝叶斯网结构学习的研究现状及发展趋势[J]. *合肥工业大学学报: 自然科学版*, 2005, 28(8): 833-838.

Ma Zhuang, Yang Shanlin, Hu Xiaojian. *Journal of Hefei University of Technology: Natural Science Edition*, 2005, 28(8): 833-838.

[5] 何慧, 苏一丹, 覃华. 基于信息增益的贝叶斯入侵检测模型优化的研究[J]. *计算机工程与科学*, 2006, 28(6): 38-40.

He Hui, Su Yidan, Qin Hua. *Computer Engineering & Science*, 2006, 28(6): 38-40.

[6] 吴琼, 李国辉, 涂丹, 等. 面向真实性鉴别的数字图像盲取证技术综述 [J]. *自动化学报*, 2008, 34(12): 1458-1466.

Wu Qiong, Li Guohui, Tu Dan, et al. *Acta Automatica Sinica*, 2008, 34(12): 1458-1466.

[7] 刘小军, 王东峰, 张丽飞, 等. 一种基于奇异值分解和隐马尔可夫模型的人脸识别方法[J]. *计算机学报*, 2003, 26(3): 340-344.

Liu Xiaojun, Wang Dongfeng, Zhang Lifei, et al. *Chinese Journal of Computers*, 2003, 26(3): 340-344.

(责任编辑 岳臣)



《科技导报》“综述文章”栏目征稿

“综述文章”栏目发表对当前自然科学有关学科领域的研究热点、前沿分支发展现状及动向的评述性文章。要求在所属学科领域从事比较深入研究的一线科研人员在研读相当数量文献资料的基础上,全面、深入、系统地论述该领域的问题,并对所综述的内容进行归纳、分析、评价,以反映作者的观点和见解。在线投稿:www.kjdb.org。