

嵌入式盲人图标实时识别研究

喻正红^{1,2},石跃祥¹,朱珍民²

YU Zheng-hong^{1,2},SHI Yue-xiang¹,ZHU Zhen-min²

1.湘潭大学 信息工程学院,湖南 湘潭 411105

2.中国科学院 计算技术研究所,北京 100091

1.College of Information Engineering,Xiangtan University,Xiangtan,Hunan 411105,China

2.Institute of Computing Technology,Chinese Academy of Sciences,Beijing 100091,China

E-mail:yuzhenghong@ict.ac.cn

YU Zheng-hong,SHI Yue-xiang,ZHU Zhen-min.Blind icon real-time recognition studying on embedded system.Computer Engineering and Applications,2010,46(5):55-58.

Abstract: Making full use of features of embedded system,this paper proposes a DSP-based blind icon real-time recognition system.It not only constructs the basic function of the system in hardware but also puts forward an algorithm of blind icon recognition system based on moment invariants and neural network.The experiment shows that it can meet the needs of practical use and has certain application value for its good qualities:High recognition efficiency,quick recognition speed,convenience,low energy consumption,strong mobility and so on.

Key words: blind icon;pattern recognition;moment invariants;neural network

摘要:利用嵌入式系统的特点,提出了一种基于DSP芯片的盲人图标实时识别系统,硬件上构建了系统的基本功能,软件上提出了一种基于不变矩和神经网络的盲人图标识别算法,实验结果表明该系统识别效率较高,识别速度较快,具有携带方便,能源消耗低,可移动性强等特点,满足实际使用的需要,具有一定的应用价值。

关键词:盲人图标;模式识别;不变矩;神经网络

DOI:10.3778/j.issn.1002-8331.2010.05.017 文章编号:1002-8331(2010)05-0055-04 文献标识码:A 中图分类号:TP391

1 引言

我国有好几千万盲人,他们作为社会中的弱势群体,应该得到社会更多的关爱,基于嵌入式盲人图标实时识别系统是为方便盲人日常生活,提升他们生活水平而进行的一项研究,其中盲人图标定位,盲人图标分割,盲人图标识别是其关键技术。提出了一种基于TMS320DM642 DSP的嵌入式盲人图标实时识别系统,就系统的硬件与软件设计进行了介绍,采用自建的盲人数字图像库,提出了盲人图标的识别过程:首先从图像库中选出盲人图标进行预处理,根据预处理结果分析盲人图标的特征,提出相应的不变矩特征提取算法,接着利用提取的不变矩特征对RBF神经网络进行训练,然后利用训练好的神经网络对待识别图标进行分类,根据测试的结果验证识别系统。

2 系统的硬件设计

系统的硬件设计实现了嵌入式系统整体的基础构建,主要由下面几部分组成^[1]:DSP处理模块,图像采集模块(CCD),转换器,逻辑控制FPGA,存储器FLASH和SDRAM,TFT液晶显

示模块(此模块最终去掉,这里加上方便测试),存储器模块以及必要的外围电路及接口。系统结构如图1所示。

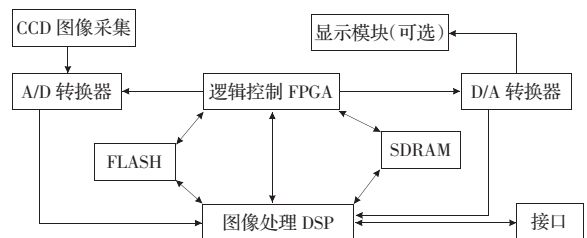


图1 盲人图标识别系统硬件方案框图

系统选用的DSP芯片是TI公司的600 MHz的TMS320DM642 DSP芯片。TMS320DM642是TI公司近来发布的新一代多媒体处理器,它基于其第二代高性能的VelociTI VLIW(Very Long Instruction Word)结构,可在每个周期执行8条32 bit的指令,具有很强的并行处理能力,适用于多种数字媒体应用。DM642的时钟频率为600 MHz,指令速度高达480MIPS。FPGA使用的是Xilinx XC2S300E系列芯片,其型号为Xilinx@Spartan-IIIE

基金项目:湖南省自然科学基金(the Natural Science Foundation of Hunan Province of China under Grant No.07JJ6115);湘潭大学博士科研启动项目(No.06QDZ23);湘潭大学交叉项目(No.06IND12)。

作者简介:喻正红(1981-),男,硕士研究生,研究方向为图像识别与智能系统;石跃祥(1964-),男,博士,教授,硕士生导师,主要研究方向为图像识别与智能系统;朱珍民(1962-),男,博士,教授,硕士生导师,研究领域主要包括嵌入式技术,多媒体技术,普适计算等。

收稿日期:2009-04-01 **修回日期:**2009-05-19

XC2S300E-6PQ208C。AD 转换器使用的是 Phillips 公司的 SAA7115HL。D/A 转换器使用的是 Phillips 公司的 SAA7105HL。数字图像处理器采用存储容量为 4M*64 bit 同步动态存储器 (SDRAM): 程序存储器采用 8 Mbit 的 Flash, 可以写进大量程序, 具备自启动功能。

其工作原理如下: 系统上电, 初始化完毕后, 当键盘向 FPGA 发送图像采集控制信号时, FPGA 控制 A/D 转换器, 抓拍盲人图标并将其转换成数字图像, DSP 对采集到的数字图像进行处理并保存图像在数字图像存储器 SDRAM 中, 处理完后将数字图像信号和识别结果一并送到 FPGA, 在 FPGA 中将数字图像信号与识别结果相关信息叠加后传送到 D/A 转换器, D/A 转换器将处理后的数字信号转换成模拟信号, 并发送到显示器进行显示。

3 系统软件设计

在软件设计方面, 系统首先在 CCS2.2 代码调试器上进行软件设计和调试, 然后进行相应的图形用户界面的编程来完成盲人图标在 TFT 液晶上的显示, 实现实时显示并可反馈当前系统的工作情况, 最后调用盲人图标识别算法应用程序, 实现盲人图标的识别工作, 其识别算法流程如图 2 所示。

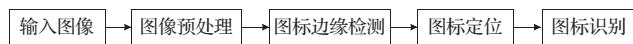


图 2 盲人图像识别算法流程图

3.1 盲人图标前期处理

在获取盲人图标的过程中, 混杂有许多随机干扰因素, 会造成图像各种各样的噪声和失真, 为此, 需要对图像进行图像增强处理, 改善图像质量, 以保证图像后续处理的准确性。盲人图标前期处理主要包括以下一些步骤, 对盲人图标 (如图 3 所示) 进行去噪处理, 主要是针对椒盐噪声, 因为一般矩特征对椒盐噪声比较敏感, 对随机噪声具有一定的鲁棒性。然后对盲人图标进行边缘检测, 在这里利用文献[2]里的一种基于梯度的边缘检测算子来进行, 它利用一对 3*3 卷积内核来获得图像的水平梯度与垂直梯度 (如图 4 所示)。此方法与 Canny 算子一样能给出定量的结果, 并且比后者简单, 因此更适合嵌入式平台的需要, 检测到边缘以后利用文献[2]中的方法进行盲人图标的定位, 该方法能较快地定位出盲人图标的位置, 准确度高。



图 3 库存部分盲人图标模板

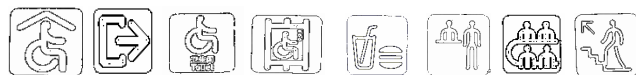


图 4 边缘检测后的部分盲人图标

3.2 盲人图标识别

盲人图标识别包括两个方面的内容, 盲人图标的特征提取与盲人图标的分类识别。考虑到实际应用的需要, 所提取的盲人图标特征需对图标的旋转, 缩放和平移具有不变性, 利用不变矩的方法来提取盲人图标的特征。

不变矩的方法是一种比较经典的特征提取方法, 单纯的中心矩或是原点矩尽管可以表征平面物体的几何形状但都不具有不变性, 然而可以从这些矩构造不变量。这种方法最初由 Hu 提出^[1], 他利用中心矩构造出了 7 个不变量, 这些不变量已经被成功地应用于很多领域。

定义 1 对于任意非负整数 p, q , 二维图像模式 $f(x, y)$ 在平面 R^2 上的 $p+q$ 阶矩定义为:

$$m_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x^p y^q f(x, y) dx dy \quad p, q=0, 1, \dots$$

式中 $f(x, y)$ 为图像的灰度 (密度), 仅在有限 R^2 平面上分段连续。显然, m_{pq} 由 $f(x, y)$ 唯一确定, 反之亦然。

定义 2 由于 m_{pq} 不具有平移不变性, 因此定义 $p+q$ 阶中心矩为:

$$u_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (x-\bar{x})^p (y-\bar{y})^q f(x, y) dx dy \quad p, q=0, 1, \dots$$

定义 3 m_{pq} 的具体含义为函数 $f(x, y)$ 在单项式上的投影, 对于数字图像, 积分用求和代替, m_{pq} 即定义为: $m_{pq} = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N x^p y^q f(x, y)$, $u_{pq} = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (x-\bar{x})^p (y-\bar{y})^q f(x, y)$ 。其中: $p, q=0, 1, \dots, \bar{x}, \bar{y}$ 是图像的重心坐标。

$$\bar{x} = \frac{\sum_x \sum_y x f(x, y)}{\sum_x \sum_y f(x, y)}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_x \sum_y y f(x, y)}{\sum_x \sum_y f(x, y)}$$

归一化中心矩 η_{pq} 定义为:

$$\eta_{pq} = \frac{u_{pq}}{u_{pq}}, r = \frac{p+q}{2} \quad p+q=2, 3, \dots$$

这种几何矩和几何中心矩可用于描述区域的形状, 但是都不具有不变性, 因此 Hu 提出了 $p+q \leq 3$ 的 7 个不变矩, 它们满足平移、缩放和旋转不变的条件, 其公式如下^[3-5]:

$$\phi_1 = \eta_{20} + \eta_{02}$$

$$\phi_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2$$

$$\phi_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2$$

$$\phi_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2$$

$$\phi_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03}) * [3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]$$

$$\phi_6 = (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})$$

$$\phi_7 = (3\eta_{21} - \eta_{03})[(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] - (\eta_{30} - 3\eta_{12}) * (\eta_{21} + \eta_{03}) [3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]]$$

由于这 7 个不变矩的变化范围很大, 为了便于比较, 可以利用取对数的方法进行数据压缩, 同时考虑到不变矩有可能出现负值的情况, 因此实际采用的不变矩为^[6]:

$$I_k = |\lg|\phi_k|| (k=1, 2, \dots, 7)$$

在实际应用中发现 ϕ_6, ϕ_7 两个矩值对识别性能贡献不大, 且计

算量大,所以只计算前5个矩值作为图像的特征向量,为了推导出更一般的不变矩,假设两幅在对比度、尺度、位置和旋转上都有差别的图像 $f_1(x,y)$ 和 $f_2(x',y')$,它们的内容完全是关于同一物体的,其相互关系可以用下式表示:

$$f_1(x,y)=Kf_2(x',y')$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix}=C \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$$

其中 K 是对比度变化因子, C 是尺度变化因子, θ 是旋转角, (a,b) 分别是 x 方向和 y 方向上的位移。使用上式分别对 $f_1(x,y)$ 和 $f_2(x',y')$ 计算出五个度量值,并构造仿射不变矩其表达式为 $U_1=(\mu_{20}\mu_{02}-\mu_{11}^2)\mu_{40}^4$,进行变换组合后,重新得出一组更一般化的不变矩度量,它们具有对比度、尺度、位置和旋转不变性:

$$\beta_1=\frac{\sqrt{I_2}}{I_1} \quad \beta_2=\frac{I_3}{I_2 I_1} \quad \beta_3=\frac{I_4}{I_3} \quad \beta_4=\frac{\sqrt{I_5}}{I_4} \quad \beta_5=U_1$$

将 $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ 作为盲人图标的不变性特征向量。

提取到图像的不变矩特征后,利用径向基函数神经网络分类器对盲人图标进行分类识别。RBF网络是在借鉴生物局部调节和交叠接受区域知识的基础上提出的一种采用局部接受域来执行函数映射的人工神经网络,具有最优逼近和全局逼近的特性。RBF网络通常具有三层BP网络的功能,但学习速度比BP方法快 $10^3\sim 10^4$ 倍,而且RBF网络具有良好的推广能力,不存在局部极小点,其网络拓扑结构是由一个隐含层和一个标准全连接的线性输出层组成的前向网络。径向基函数(RBF)是指某种沿径向对称的标量函数,通常定义为空间中任一点 x 到某一中心 c_i 间欧氏距离的单调函数。最常见的径向基函数是高斯核函数^[8],表示为: $\varphi_i(\|x-c_i\|)=\exp(-\|x-c_i\|^2/(2\sigma_i^2))$ 。其中: c_i 为核函数中心, σ_i 为核函数的宽度参数,控制基函数的径向作用范围即方差。在高斯函数网络中,主要是RBF中心的选取。

这里利用最近邻聚类学习算法^[9]来选取RBF的中心,最近邻学习算法实质上是一种在线自适应聚类学习算法,不需要事先确定隐单元的个数,完成聚类所得到的RBF网络是最优的,并且此算法可在线学习,步骤如下:

选择一个适当的高斯宽度 ρ ,定义矢量 $A(l)$ 用于存放属于各类的输出矢量之和,定义一个计数器 $B(l)$ 用于统计属于各类的样本个数,其中 l 为类别数。

从第1个样本数据对 (x^1, y^1) 开始,建立一个聚类中心,令初值为 $c_1=x^1, A(1)=y^1, B(1)=1$ 。这样建立的RBF网络只有一个隐单元,该隐单元的中心点值为 c_1 ,隐单元到输出层的权值 $w_1=A(1)/B(1)$ 。

考虑第2个样本数据对 (x^2, y^2) ,求出 x^2 到 c_1 的距离 $\|x^2-c_1\|$ 。如果 $\|x^2-c_1\| \leq \rho$,则 c_1 为 x^2 的最近邻聚类,且令 $A(1)=y^1+y^2, B(1)=2, w_1=A(1)/B(1)$;如果 $\|x^2-c_1\| \geq \rho$,则将 x^2 作为一个新的聚类中心,并令 $c_2=x^2, A(2)=y^2, B(2)=1$ 。在上述建立的RBF网络中再添加一个隐单元,该隐单元到输出层的权矢量为 $w_2=A(2)/B(2)$ 。

假设第 K 个样本数据对 (x^K, y^K) 时, $K=3,4,\dots,N$,存在 M 个聚类中心,其中心点分别为 c_1, c_2, \dots, c_M ,则已有 M 个隐单元,分别求出 x^K 到这 M 个聚类中心的距离 $\|x^K-c_i\|, (i=1,2,$

$\dots, M)$,设 $\|x^K-c_i\|$ 为这些距离中的最小距离 d_{\min} ,即 c_j 为 x^K 的最近邻聚类。如果 $d_{\min} > \rho$,则将 x^K 作为一个新的聚类中心,令 $c_{M+1}=x^K, A(M+1)=y^K, B(M+1)=1$,并保持 $A(M), B(M)$ 的值保持不变。在上述建立的RBF网络中再添加第 M 个隐单元;如果 $d_{\min} \leq \rho$,则 $A(j)=A(j)+y^K, B(j)=B(j)+1$ 。当 $i \neq j$ 时, $i=1,2,\dots,M$,且保持 $A(i), B(i)$ 的值不变。隐单元到输出层的权矢量为 $w_i=A(i)/B(i), i=1,2,\dots,M$ 。根据上述规则建立的RBF网络其输出为: $f(x^K)=\sum_{i=1}^M w_i \exp(-\|x^K-c_i\|^2/\rho^2) / \sum_{i=1}^M \exp(-\|x^K-c_i\|^2/\rho^2)$ 。高斯宽度 ρ 的大小决定了动态自适应RBF网络的复杂程度。 ρ 越小,所得到的类别数越多,计算量就越大。 ρ 的大小可以在通过实验信息找到一个适当的值。这样比同时确定隐层中心个数和一个范数要方便的多。

4 实验结果

首先通过硬件调试,实现了嵌入式系统的整体构建和系统信息的液晶显示功能。采用提出的不变矩对图3所给出的12幅盲人图像进行特征提取,把得到的数据作为RBF网络的输入,然后用这些输入样本对RBF网络进行训练,最后用训练好的RBF网络来指示盲人图标的识别。其输入层神经元的个数为5,输出层神经元的个数为12,隐层神经元的个数通过实验确定为20。学习过程的期望输出值如表1所示。在识别阶段,当一个未知类别的样本作用到输入端时,考察各输出节点的输出,并将这个样本的类别判定为与输出值最大的那个节点对应的类别。

表1 各学习样本对应的期望输出

图像	期望输出对应编码
1	1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
2	0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
3	0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
4	0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0
5	0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0
6	0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
7	0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0
8	0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0
9	0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0
10	0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0
11	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0
12	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1

将图3中的每一幅图像做8次如图5所示的旋转,共得到96幅图像。分别计算其不变矩,其结果如表2所示,并作为神经网络的输入,对神经网络进行测试,采用结构为5-20-12的神经网络对盲人图标进行识别,其正确识别率为94.8%,图标的平均识别时间为1.05s,识别结果如表3所示。



图5 各种角度的待识别盲人图标

最后又将图3给出的每一幅图像做7次如图6所示的缩放,共得到84幅图像。分别计算其不变矩,并作为神经网络的输入,对神经网络进行测试,其正确识别率为100%,图标的平均识别时间为0.85s,识别结果如表4所示。最后随机选

表2 不变矩特征结果表

图像	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
1	1.035 2	0.482 0	0.906 6	0.584 2	0.762 0
2	1.047 3	0.502 5	0.872 6	0.542 6	0.753 9
3	1.042 5	0.510 5	0.912 4	0.582 0	0.743 3
4	1.052 3	0.492 6	0.896 6	0.520 8	0.764 7
5	1.032 3	0.471 6	0.872 3	0.568 3	0.773 2
6	1.042 1	0.510 5	1.132 4	0.572 6	0.790 1
7	1.058 3	0.472 2	1.032 6	0.521 5	0.762 3
8	1.065 2	0.476 2	0.907 3	0.584 2	0.771 6
9	1.011 2	0.453 8	0.879 6	0.553 9	0.782 1
10	1.031 2	0.492 7	0.846 5	0.572 3	0.790 1
11	1.078 2	0.456 7	0.896 7	0.570 5	0.781 0
12	1.111 5	0.496 5	0.910 8	0.592 1	0.792 3

表3 盲人图标识别结果表

测试样本数	正确识别数	识别率/(%)
96	88	91.7

取 80 幅图标分别对基于 Hu 不变矩特征和基于组合矩特征的 RBF 神经网络识别算法进行了对比(如表 5 所示),结果表明后者满足实时识别的需要。



图6 不同拍摄距离的待识别盲人图标

表4 盲人图标识别结果表

测试样本数	正确识别数	识别率/(%)
84	84	100

表5 两种算法的对比数据

	测试样本数	正确识别数	识别率/(%)	平均识别时间/s
Hu 不变矩	80	61	76.3	2.53
组合矩	80	74	92.5	0.95

(上接 23 页)

侧重于给用户最准确的检索结果。

4 结语与展望

针对英文文档,提出了一种新的基于奇异值分解特征融合的检索算法,采用频率矩阵对英文文本进行文本表示,再对奇异值分解后的第一奇异值分量和第二奇异值分量进行数据融合,得到既反映字母统计频率又反映字母间顺序关系的复特征向量,最后对目标文本与待检测文本进行余弦相似度匹配。通过实验数据和平均准确率性能曲线 MAP 与经典的 LSA 算法比较可知,该文算法在检索准确率和运算效率上优于 LSA 算法,能够满足用户检索的基本需要。

提出的英文文本检索算法是文本检索研究中的一次尝试,取得了较好的实验结果,但选取的实验数据为英文文本各段落,若以含词汇量大的文本做为实验数据,则检索性能明显下降。因而,如何对该算法进行改进以适应大容量文本是下一步的工作方向。

参考文献:

[1] 丁国栋,白硕,王斌.文本检索的统计语言建模方法综述[J].计算机研究与发展,2006,43(5):769-776.

5 结论

采用 DSP 的嵌入式技术,设计了一个完整的,可独立运行的嵌入式盲人图标实时识别系统,提取了一种基于嵌入式系统的盲人图标识别算法。利用组合不变矩提取盲人图标的特征向量,利用 RBF 神经网络作为分类器对提取的特征向量进行分类,实验结果表明可以达到比较满意的性能,适应于嵌入式盲人图标识别这种实时性要求高的系统,具有良好的应用前景。基于该文的工作,在软件方面可进一步研究:组合各种不变矩来训练神经网络,选取更好的 RBF 神经网络中心,从而进一步提高系统的识别性能。

参考文献:

- [1] 周立功.ARM 微控制器基础与实践[M].北京:北京航空航天大学出版社,2005.
- [2] 喻正红,石跃祥,朱珍民.基于嵌入式系统的盲人图标定位研究[J].微计算机信息,2009(32).
- [3] Hu M K.Visual pattern recognition by moment invariants[J].IEEE Transactions on Information Theory,1962,8(2):179-187.
- [4] Flusser J,Suk T.Pattern recognition by affine moment invariants[J].Pattern Recognition,1993,26(1):167-174.
- [5] The C H,Chin R T.On image analysis by the methods of moments[J].IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1988,10:496-513.
- [6] 王坤明,许忠仁.基于不变矩和神经网络的交通标志识别方法研究[J].计算机应用研究,2004,3(1):254-256.
- [7] Flusser J,Suk T.Pattern recognition by affine moment invariants[J].Pattern Recognition,1993,26(1):167-174.
- [8] 苏美娟,邓伟.RBF 神经网络的一种快速鲁棒学习算法[J].苏州大学学报,2007,27(1):17-18.
- [9] 蔡梅艳.基于 TMS320C642DSP 的目标图像识别研究[D].南京:南京航空航天大学,2007.
- [10] 阮秋琦.数字图像处理学[M].北京:电子工业出版社,2001:2-3.
- [11] 边肇祺,张学工.模式识别[M].北京:清华大学出版社,1999.
- [12] 魏海坤.神经网络结构设计的理论与方法[M].北京:国防工业出版社,2005.
- [2] Sebastiani F.Machine learning in automated text categorization[J].ACM Computing Survey,2002,34(1):1-47.
- [3] 樊兴华,孙茂松.一种高性能的两类中文文本分类方法[J].计算机学报,2006,29(1):124-131.
- [4] Deerwester S,Dumais S T,Furnas G W,et al.Indexing by latent semantic analysis[J].Journal of the American Society of Information Science,1990,41(6):391-407.
- [5] Salton G,Wong A,Yang C S.A vector space model for automatic indexing[J].Communications of the ACM,1975,18(11):613-620.
- [6] Greiff W R.A theory of term weighting based on exploratory data analysis[C]//Proceedings of SIGIR-98,Melbourn,Australia,1998.
- [7] Jones K S.A statistical interpretation of term specificity and its application in retrieval[J].Journal of Documentation,1972,28:11-21.
- [8] Kalt T.A new probabilistic model of text classification and retrieval, IR-78[R].University of Massachusetts Center for Intelligent Information Retrieval,1996.
- [9] Lewis D D.Naive(Bayes)at forty:The independence assumption in information retrieval[C]//EMCL,1998:4-15.
- [10] Landauer T K.A solution to Plato's problem:The latent semantic analysis theory of the acquisition,induction,and representation of knowledge[J].Psychological Review,1997,104:211-240.