

# 基于 PCA 与 ArcGIS 网络分析的 图书馆阅览室管理系统

陈轩泽<sup>1 3</sup> 霍 静<sup>2</sup> 费 峰<sup>3 4</sup> 陈 颖<sup>5</sup> 马青玉<sup>1</sup>

(1. 南京师范大学 物理科学与技术学院, 江苏 南京 210046)

(2. 南京大学 计算机科学与技术系, 江苏 南京 210046)

(3. 南京师范大学 强化培养学院, 江苏 南京 210046)

(4. 南京师范大学 地理科学学院, 江苏 南京 210046)

(5. 南京师范大学 图书馆, 江苏 南京 210046)

**[摘要]** 针对现有视频监控系统过分依赖人眼检测和缺乏智能性的弊端, 根据南京师范大学敬文图书馆阅览室管理系统的要求, 提出了一种基于主成分分析与 ArcGIS 网络分析算法的目标检测、识别和显示技术, 应用背景减法分割人头轮廓, 奇异值分解训练样本空间, 经过 PCA 变换得到目标图像的特征向量并进行目标匹配; 同时建立网络模型提供座位信息查询和路径导航, 并通过 AO 对象建模和应用软件功能控制模块实现图书馆阅览室的管理和应用功能, 保证图书馆信息安全和稳定运行。实验结果表明, 该系统具有较好的识别效果, 对图书馆现代化、智能化、网络化和人性化建设起到积极作用。

**[关键词]** 智能监控, 主成分分析, GIS 网络分析, 图书馆阅览室管理

**[中图分类号]** G250.71 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-4292(2012)02-0057-07

## Library Reading Room Management System Based on PCA and ArcGIS Network Analysis Algorithm

Chen Xuanze<sup>1 3</sup>, Huo Jing<sup>2</sup>, Fei Feng<sup>3 4</sup>, Chen Ying<sup>5</sup>, Ma Qingyu<sup>1</sup>

(1. School of Physics and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

(2. Department of Computer Science and Technology, Nanjing University, Nanjing 210046, China)

(3. Honor School, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

(4. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

(5. Library of Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

**Abstract:** Aiming at the disadvantages of the current video monitoring system's lacking intelligence and over-reliance on eye examination and identification, a new library reading room management technique is proposed for the application of Jingwen Library in Nanjing Normal University according to the library's requirements. Based on the principal component analysis (PCA) algorithm and network analysis algorithm model in ArcGIS<sup>TM</sup>, target detection and identification as well as visualization techniques are performed. Head outline segmentation is firstly carried out with the background subtraction method and sample training is conducted with Singular value decomposition algorithm. After the PCA transform, target match is achieved for the target image with the calculated feature vectors. The seating information query and navigation system is then set up by using the network model and the application management is built by using the AO function control and application software modules to guarantee information security and stable operation for library. The experimental results prove that the proposed system has good seating identification accuracy and suggests an active role in modernization, intelligentization and humanization for network library reading room management.

**Key words:** intelligent monitoring, principal component analysis, GIS network analysis, library reading room management

收稿日期: 2012-03-40.

基金项目: 国家自然科学基金(10974098)、教育部高等学校博士学科点专项科研基金(20093207120003)和南京师范大学英才培养计划。

通讯联系人: 马青玉, 博士, 教授, 研究方向: 电子技术、信号处理和声学. E-mail: maqingyu@njnu.edu.cn

利用摄像头采集数据进行智能视频检测<sup>[1-2]</sup>与图像识别<sup>[3-4]</sup>,因其方便录入所采集的人与物体的特征、在识别和处理阶段不需被识别者的主动配合、处理突发事件快速准确等优点,具有广阔的应用前景和价值。此外,视频图像中的目标检测、目标识别、目标跟踪技术等课题的研究同时涉及了计算机视觉、模式识别和人工智能等诸多领域,具有很高的研究和应用的价值,长期以来一直备受关注。

在目标检测方面,Paul Viola 和 Michael Jones 在 2001 年提出基于 Adaboost 的目标检测算法<sup>[5-6]</sup>,该算法主要特点为:使用积分图快速计算特征,使用 Adaboost 的学习策略,采用级联策略来组合强分类器从而提高检测的速度。该算法速度快、检测精度高,但在训练阶段需花费较多的时间。在静止摄像头检测运动目标方面,基于 Kalman 滤波的运动模型目标跟踪算法<sup>[7-9]</sup>得到了广泛的应用。该算法在外部环境(例如光照变化、阴影等)发生变化时,表现出较为稳定的特性和良好的识别性能。但该算法需要一个初始背景模型的建立过程,在目标检测过程中还需进行背景的更新,以保持该系统对光照和阴影等的抗干扰性,因此较难实现。

网络分析对基于检测结果的处理有着独特的优势和适应性。在 GIS 中,网络分析是依据网络的拓扑关系(网络拓扑、网络连通性),通过查询网络中元素的属性和空间属性数据,以图论为基础,对网络的性能特征进行多方面的分析计算。网络分析的主要用途为最佳路径选取、设施选址及网络流分析。图书馆本身就是一个层次分明、系统性明显的地理实体,在图书馆中,将检测的对象抽象为网络节点,将到达路径抽象为弧段,以此构建图书馆的网络模型,并进行相应的分析计算。

本文通过阅览室空间视频检测与图书查询系统的连接,使用 GIS 的软件平台,构建智能化的图书馆阅览室服务与管理系统<sup>[12-18]</sup>。基于主成分分析(Principle Component Analysis, PCA)<sup>[19-20]</sup>的目标检测方法,本系统快速、准确地确定读者分布及阅览室的座位使用情况,较好地提高了图书馆阅览室的管理效率。

## 1 检测算法实现

主成分分析方法是应用最广泛的一种特征提取方法,在信号处理、模式识别、数字图像处理等领域有着广泛应用。主成分分析方法基本思想是,提取出空间原始数据中的主要特征(即主元),减少数据冗余,使得数据在一个低维的特征空间被处理,同时保持原始数据的绝大部分信息,从而解决数据空间维数过高的瓶颈问题。

本研究根据视频图像流中获取桌位利用率信息的需求,设计了基于主成分分析算法的视频图像的桌位检测算法,主要分为分类器的训练和目标的检测两部分,其中分类器的训练为下线的训练,检测为在线的检测,图像识别程序框架图如图 1 所示<sup>[21]</sup>。

### 1.1 训练样本空间

假设存在一个目标图像的训练集  $T = \{I_1, I_2, \dots, I_k\}$ ,其中有  $k$  个训练样本,假设训练样本的大小均为  $m \times n$ ,其中  $m$  是训练样本图像的行,  $n$  是列样本图像的列。对于训练集中的每个图像样本将图像中的每列相连,构成一个  $d \times 1$  维的列向量,其中  $d = m \times n$ 。根据以上假设,则训练样本空间  $T$  转化为  $\{X_i\}$ ,其中  $X_i$  为第  $i$  个训练样本构成的列向量,  $i = \{1, \dots, k\}$ ,令矩阵  $A = [X_1 - \bar{X}, X_2 - \bar{X}, \dots, X_k - \bar{X}]$ ,  $A$  的大小为  $d \times k$ ,则训练样本的协方差矩阵为

$$S = AA^T. \quad (1)$$

对于计算  $S$  的特征值和特征向量,考虑到一般情况下  $d$  较大,直接计算  $S$  的特征值和特征向量较为困难,而通常由于训练样本数量  $k \ll d$ ,因此可以采用奇异值分解的方法来获得  $S$  的特征值和特征向量。由于  $A^T A$  的大小为  $k \times k$ ,其特征值和特征向量较好计算。假设  $\lambda_i$  和  $v_i$  分别为  $A^T A$  的特征值和特征向量,  $i = \{1, \dots, k\}$ ,则  $AA^T$  的特征向量为:

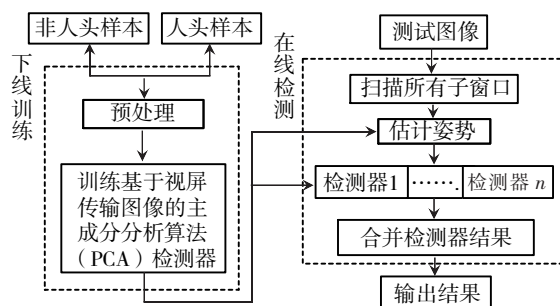


图1 基于PCA算法的图像识别程序流程图  
Fig.1 Flowchart of PCA algorithm based image recognition process

$$u_i = \frac{1}{\sqrt{\lambda_i}} A v_i. \quad (2)$$

由于较大的特征值对应目标的主要成分,而较小的特征值对应的可能为一些噪声等信息,故可以选取一些较大的特征值对应的特征向量.本文在实验中将特征值从大到小排列后,特征向量也按照对应的特征值排列,则根据  $\sum_{i=1}^t \lambda_i / \sum_{i=1}^k \lambda_i \geq \alpha$  可以选取前  $t$  个特征向量,其中  $t \leq k$ ,  $\alpha$  选 0.9.

### 1.2 计算训练样本特征向量

根据式(2)得到特征向量  $u_i$  以后,可将训练样本投影到特征空间中,得到训练样本的投影系数  $\omega_i$ .令  $U = [u_1, u_2, \dots, u_t]$ ,  $U$  的大小为  $d \times t$ ,则训练样本在特征空间中的投影系数  $\omega_i$  也就是训练样本经过 PCA 变换得到的目标图像的特征向量,表示为:

$$\omega_i = (X_i - \bar{X}) U. \quad (3)$$

### 1.3 目标的判断

对待判别的图像  $I$  (待判别图像为视频图像帧上获取的子窗口中对应的图像),采用上述计算训练样本特征向量方法,计算待判别图像对应的特征向量  $\omega_r$ ,然后利用特征向量进行相似度判别.计算两个特征向量之间的相似度的方法有多种,可采用计算特征向量之间的欧氏距离的方法,也可采用计算特征向量之间的余弦值的方法<sup>[22]</sup>.本系统采用计算特征向量之间余弦值的方法,对两个特征向量  $\omega_1$  和  $\omega_2$ ,其相似度为:

$$\cos(\omega_1, \omega_2) = \frac{\omega_1 \cdot \omega_2}{|\omega_1| |\omega_2|}. \quad (4)$$

其中相似度数  $\cos(\omega_1, \omega_2)$  值越大,两个图像是同一个目标的可能性越大.

## 2 图书馆阅览室管理系统的设计与实现

图书馆是一个功能分异明确、系统组织性强的地理对象,其阅览室座位分布也较为规则.本研究通过识别检测技术将阅览室中特定范围内的桌椅视为兴趣区 (Region of Interest, ROI),在该区域内,设定各座位特定的空间坐标,并以各座位所在区域平面的中心点坐标作为该座位空间坐标,使座位等效为一系列规则分布的点.本研究基于南京市师范大学敬文图书馆系统功能的分析,以阅览室的座位作为网络结点,将座位和座位以及入口的路径抽象为链,建立阅览室内部网络模型,同时补充电梯、楼梯等的建立功能更加完整的网络模型<sup>[11]</sup>与功能结构图,如图2所示.

本系统以摄像头所在的空间位置作为坐标原点,根据座位的纵横分布确定  $X$ 、 $Y$  轴,以座位中心点坐标作为座位的空间坐标信息,并通过识别座位间的走道是否存在等形成点之间的链的信息,建立如图3(a)所示的几何网络模型.进一步通过抽象操作建立如图3(b)所示的逻辑网络模型,数字化操作建立如表1、表2所示的数据库关系表,表中的数据经过相关的预处理,去除悬挂边和悬挂点后,不仅存储了结点与边的属性信息,同时也存储了拓扑关系,用户可使用网络分析模块按照其所需进行网络分析.

本文建立的网络分析主要有以下3类功能<sup>[11]</sup>:

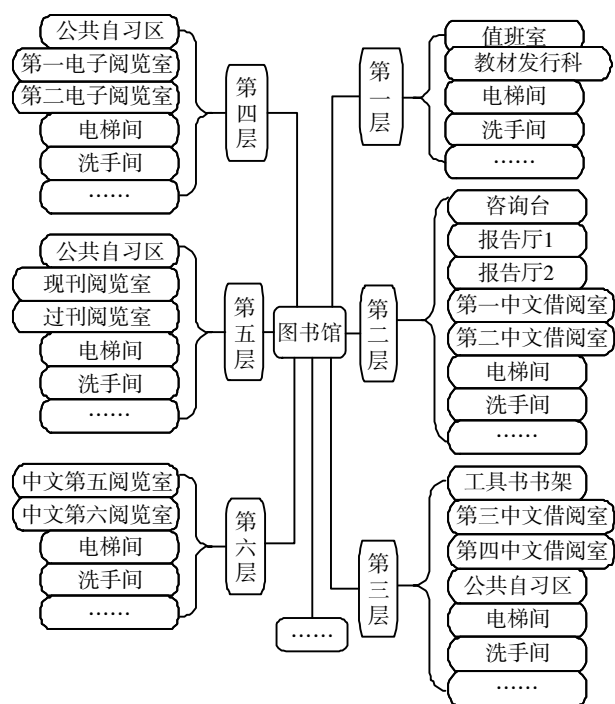


图2 南京师范大学敬文图书馆的功能结构划分

Fig.2 Functional structure of Jingwen library

- (1) 寻找最佳行进路线,如:找出图书馆阅览室到达的最佳路径.
- (2) 确定最近的公共设施,如:引导学生找到最近的洗手间、公用电话.
- (3) 创建服务区域,如:确定流动书架服务区域,以便高效地分配书架的摆放位置.

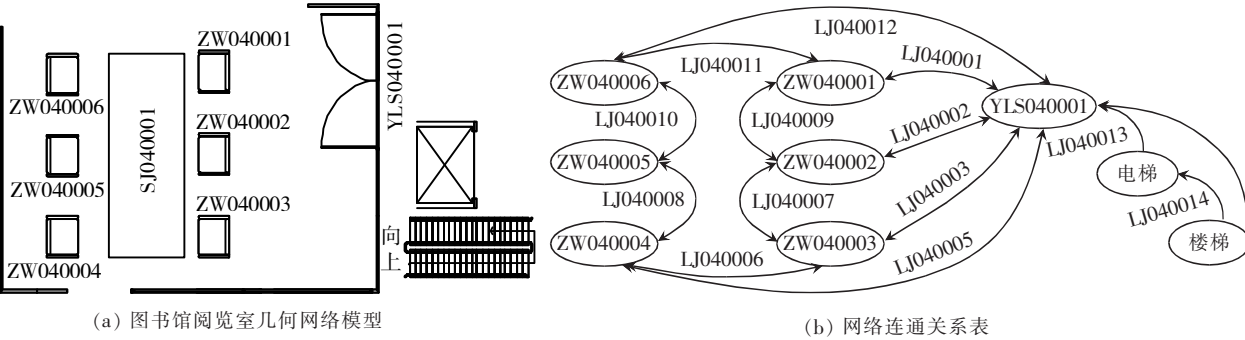


图 3 敬文图书馆的抽象几何模型

Fig.3 Geometric model of Jingwen library

表 1 节点表

Table 1 Table of nodes

节点编号	连通性	连接边数目	连接边编号	...
ZW010001	1	3	LJ010001, LJ010002, LJ010003	...
ZW010002	1	3	LJ010001, LJ010003, LJ010004	...
ZW010003	0	2	LJ010004, LJ010005	...
...	...	...	...	...
ZW020001	1	3	LJ020001, LJ020002, LJ020003	...

表 2 边表

Table 2 Table of polylines

边编号	边起点	边终点	单向性	...
LJ010001	ZW010001	ZW010002	0	...
LJ010002	ZW010002	ZW020001	0	...
...	...	...	...	...
LJ010004	ZW010002	ZW010003	0	...
...	...	...	...	...

在图书馆阅览室信息数据库构建完成后,本研究基于 AO 组件和 Visual Studio 2010 进行管理系统的开发.在 Visual Studio 2010 中,通过 Map Control Application 进行图形化的设计和开发.同时通过该应用提供的接口,可以很方便地连接数据库.为了满足用户(主要是学生)对于阅览室座位的查询、预定和导航需求,在应用中加入 Network Analyst 扩展分析模块.根据用户的相关行为(如借书的书架、阅览的座位等)进行网络分析,将分析结果以优化路径的方式反馈给用户,帮助用户高效、便捷地使用图书馆资源.通过网络分析,图书馆的注册用户可以迅速查询空闲座位并进行预定.随后将得到从预定的管理系统客户端到该位置的导航路线信息和查询码.查询码方便用户在不同的客户端查询路线,由系统分配并按时清理.

本研究基于 ArcGIS Engine 的组件模型<sup>[10]</sup>,利用 PCA 与 ArcGIS 网络分析算法设计了如图 4 所示的南京师范大学敬文图书馆阅览室智能管理系统,主要分为基础服务层、数据管理层、地图分析层、开发组件

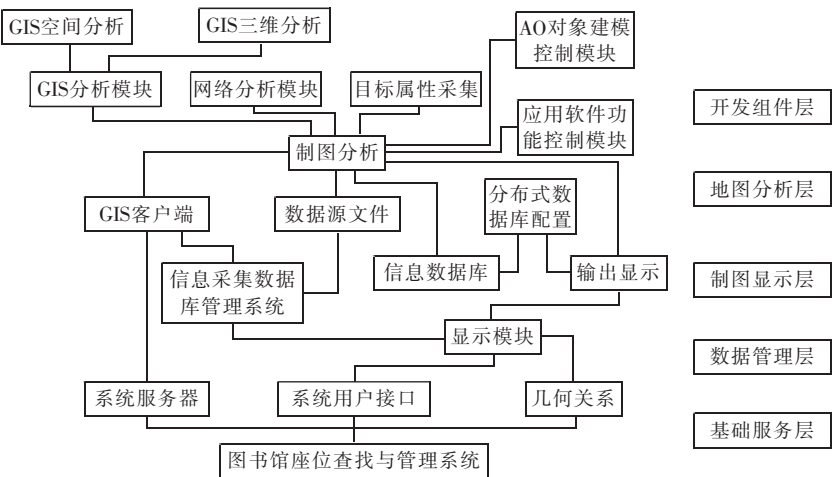


图 4 基于 PCA 与 ArcGIS 网络分析的图书馆阅览室管理系统框图

Fig.4 Sketch map of video detection and GIS visualization based intelligent library reading room management system



层. 系统功能方面, 本设计通过信息采集数据库管理系统管理由视频检测系统检测到的空间数据, 连接图书馆图书信息数据库进行图书馆图书借阅信息的收集和统计, 并通过制图分析将网络分析模块的结果和图书馆平面底图进行显示, 通过网络分析模块将用户行为地点的空间信息进行语义分析, 提供给用户可选的优化路径, 令用户更便捷使用图书馆资源, 提高图书馆的管理和使用效率.

### 3 测试结果及分析

#### 3.1 PCA 算法测试

本研究建立的图书馆用户训练数据集(人头图像数据经摄像头于敬文图书馆第四阅览室采集)包括 8 个正例样本和 15 个反例样本, 测试数据集包括 32 个正例样本和 44 个反例样本, 其中正例样本和反例样本均为  $50 \times 50$  的灰度图像, 测试环境为 MATLAB 2010B. 测试时, 使用训练集训练, 构建特征空间, 计算正例样本的特征向量, 即得到 8 个正例样本的特征向量; 将训练集中的样本投影到特征空间中, 得到 32 个正例测试样本和 44 个反例测试样本的特征向量; 对 32 + 44 个测试样本中的每一个测试样本, 分别计算它们和正例训练样本之间的相似度, 取其中最大的一个作为最终相似度, 则相似度为一个  $-1 \sim 1$  之间的数值. 该相似度数值衡量的是测试样本和正例训练样本之间的相似程度, 数值越接近 1, 则相似程度越高, 即测试样本是正例的可能性越大.

通过测试分析可知, 反例测试样本和正例训练样本之间的相似度较低, 而正例测试样本和正例训练样本之间的相似度较高, 因此存在一个最优的阈值<sup>[23]</sup>, 使得正例和反例被误分得最少. FPR 又称假阳率, 即一个反例样本被判为正例的比率; 而 TPR 又称真阳率, 即一个正例样本被判为正例的比率. 受试者工作特征(ROC)曲线以 FPR 为横坐标, 以 TPR 为纵坐标. 其中 FPR 和 TPR 均为阈值  $t$  的函数. 调节阈值  $t$ , 阈值  $t$  偏小, 则会有较多的反例被判为正例, 即 FPR 也会较高, 同时 TPR 也较高; 随着  $t$  的增大, 部分的正例样本被划分为反例, TPR 会降低, 同时 FPR 会降低. 对于一个  $t$  数值, 会有一对 FPR 和 TPR 数值与之对应. 实验中, 调节  $t$  在  $0.8 \sim 1$  的范围内, 得到如图 5 所示的 ROC 曲线. 当  $t = 1$  时, 由于相似度数没有达到 1, 所有测试样本均被判为反例, FPR 为 0, 同时 TPR 也为 0. 当  $t = 0.8$  时, 所有的相似度数均在 0.8 以上, 所有测试样本均被判为正例, 此时 TPR 为 1, 同时 FPR 为 1.

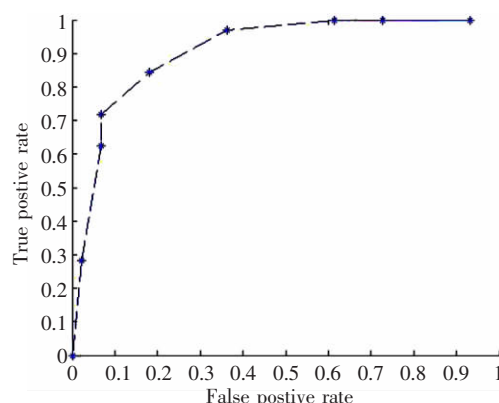


图 5 基于 PCA 算法的 ROC 曲线

Fig.5 ROC curve of PCA algorithm

本系统所要达到的最好效果是 TPR 尽可能地高, 而 FPR 尽可能地低. 在图中可看到, 当选取一个合适的阈值的时候, 本算法可以得到 TPR 在  $0.8 \sim 0.9$  之间, 而 FPR 在  $0.2 \sim 0.3$  之间, 已基本可达本系统所需要的判别正反例的要求. AUC 是 ROC 曲线和坐标轴之间区域的面积, 通过积分求得, 可以衡量一个算法的判别效果, AUC 数值越高, 对应的算法效果越好. AUC 数值的最坏情况是 0.5, 越接近 1 越好. 本研究测试得到的 AUC 数值为 0.9066, 可认为本设计的算法具有较高的准确性.

#### 3.2 系统测试界面

系统的应用界面采用 office 2007 图形用户界面组件设计, 通过“楼层选择”快速展示所选楼层的功能区分布图(见图 6 左)和座位使用情况图(见图 6 右). 功能区分布图显示了整个图书馆楼层平面图和细节的功能分区. 用户选择相应的功能区可以看到阅览室座位使用情况, 其中深色代表该座位正在被使用或者刚被预定, 浅色表示用户可以选择其中的某个座位进行预定并使用. 图 6 还给出了阅览室座位使用情况的详细数据, 为用户选择提供方便准确的参考信息.

### 4 结语

针对现代图书馆阅览室管理中存在的信息传递速度慢、准确性低、突发事件处理迟缓、读者不能准确把握阅览室信息等缺陷, 本研究基于主成分分析法, 利用 Matlab 软件对视频流中的人头画面进行图像截取分析、智能识别和信息处理, 并基于 ArcGIS Engine 平台, 通过 GIS 网络分析算法将阅览室中的读者分

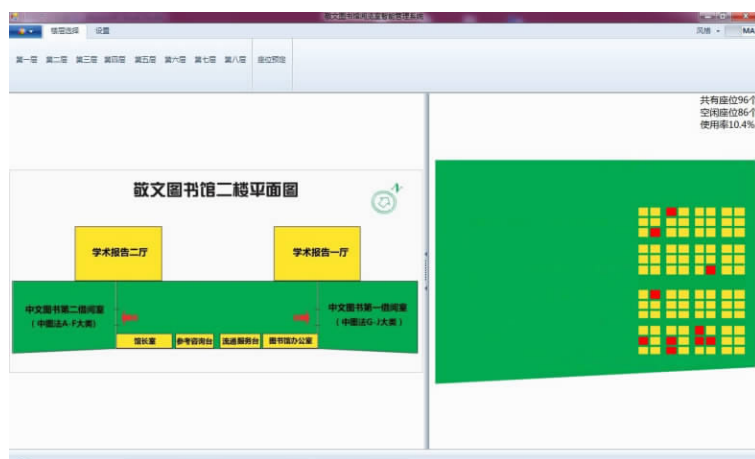


图6 图书馆阅览室管理系统操作界面

Fig.6 Manipulation interface of the library reading room management system

布、阅览室利用情况和阅览室安全信息提供给读者和管理者,方便管理者进行监控与管理,实现远程座位查找、座位预定、快速查找借阅图书等功能.这对提高图书馆资源的利用率,实现图书馆的现代化和智能化建设具有重要意义.该系统具有良好的应用前景.

### [参考文献](References)

- [1] Green M W. The Appropriate and Effective Use of Security Technologies in U. S. Schools: A Guide for Schools and Law Enforcement Agencies[EB/OL]. [2008-06-05]. [http://www.ncjrs.gov/school/178265\\_1.pdf](http://www.ncjrs.gov/school/178265_1.pdf).
- [2] Steffens J, Elagn E, Neven H. Person spotter-fast and robust system for human detection, tracking and recognition[C]// Proceedings of IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition. New York: IEEE, 1998.
- [3] Skea D, Kuwahara R. A control matching algorithm[J]. Pattern Recognition, 1993, 26(2): 269-274.
- [4] 易兴辉, 王国胤, 胡峰. 一种新的基于粗糙集的动态样本识别算法[J]. 南京大学学报: 自然科学版, 2010, 46(5): 501-506.  
Yi Xinghui, Wang Guoyin, Hu Feng. A new dynamic sample recognition algorithm based on rough set[J]. Journal of Nanjing University: Natural Sciences Edition, 2010, 46(5): 501-506. (in Chinese)
- [5] Schapire R E, Singer Y. Improved boosting algorithm[C]// Proceeding of the 13th Conference on Machine Learning. Italy: Morgan Kaufmann, 1996.
- [6] Freund Y, Schapire R E. Experiments with a new boosting algorithm[C]// Proceedings of the 13th Conference on Machine Learning. Italy: Morgan Kaufmann, 1996.
- [7] Sasiadek J Z, Wang Q, Zeremba M B. Fuzzy adaptive Kalman filtering for INS/GPS data fusion[C]// Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium on Intelligent Control. Reston: Americal Institute of Aeronautics and Astronautics, 2000: 181-186.
- [8] Cipra T, Romera R. Robust Kalman filter and its application in time series analysis[J]. Kybernetika, 1999, 27(6): 481-494.
- [9] Legter G R Jr, Young Y T. A mathematical model for computer image tracking[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1982, 4(6): 583-594.
- [10] Zeiler M. Modeling Our World: The ESRI® Guide to Geodatabase Design[M]. New York: Environmental System Research Institute, 1999: 129-146.
- [11] 吴立新, 史文中. 地理信息系统原理与算法[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 28-29.  
Wu Lixin, Shi Wenzhong. Principles and Algorithms of GISs[M]. Beijing: Science Press, 2003: 28-29. (in Chinese)
- [12] 廖士中, 丁立中, 贾磊. 支持向量回归多参数的同时调节[J]. 南京大学学报: 自然科学版, 2009, 45(5): 587-591.  
Liao Shizhong, Ding Lizhong, Jia Lei. Simultaneous tuning of multiple parameters for support vector regression[J]. Journal of Nanjing University: Natural Sciences Edition, 2009, 45(5): 587-591. (in Chinese)
- [13] 邱凯昌. 空间数据发掘与知识发现[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2001: 18-49.  
Di Kaichang. Spatial Data Mining and Knowledge Discovery[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2001: 18-49. (in Chinese)

- nese)
- [14] 龚健雅 杜道生 李清泉 等. 当代地理信息技术[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 27-28.  
Gong Jianya, Du Daosheng, Li Qingquan, et al. The Current Geographic Information Technology [M]. Beijing: Science Press, 2004: 27-28. ( in Chinese)
  - [15] 崔修浩 吴建平. 空间矢量数据存储方式与索引机制的发展[J]. 遥感技术与应用, 2002, 17( 4): 215-219.  
Cui Xiuhao, Wu Jianping. Development of approach in storage and index for spatial vector data [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2002, 17( 4): 215-219. ( in Chinese)
  - [16] 陈泽民. 中国矢量数据交换格式的应用研究[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2004, 29( 5): 451-455.  
Chen Zemin. Application research on CNSDTF-VCT [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2004, 29( 5): 451-455. ( in Chinese)
  - [17] 赵晓琴 孙毅中 闻雅. 面向事件的地理要素时空回溯研究[J]. 南京师范大学学报: 自然科学版, 2009, 32( 4): 117-121.  
Zhao Xiaoqin, Sun Yizhong, Wen Ya. Research on the event oriented spatio-temporal retrospect of geographical features [J]. Journal of Nanjing Normal University: Natural Science Edition, 2009, 32( 4): 117-121. ( in Chinese)
  - [18] 徐艳 孙燕. 无线传感网络时空数据聚集查询算法[J]. 南京师范大学学报: 工程技术版, 2008, 8( 4): 39-42.  
Xu Yan, Sun Yan. Spatio-temporal data aggregation query algorithm in wireless sensor networks [J]. Journal of Nanjing Normal University: Engineering and Technology Edition, 2008, 8( 4): 39-42. ( in Chinese)
  - [19] Moghaddam B, Pentlan A. Beyond linear Eigen spaces: Bayesian matching for face recognition [C]// Face Recognition: From Theory to Application. Springer-Verilog, 1998: 230-243.
  - [20] Yang J, Zhang D, Fringe A F, et al. Two-dimensional PCA: a new approach to appearance-based face representation and recognition [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26( 1): 131-137.
  - [21] Rowley H A. Neural network-based human face detection [D]. Pittsburgh: School of Computer Science, Carnegie Mellon University, 1999.
  - [22] Cuisenaire O, Macq B. Fast Euclidean distance transformations by propagation using multiple neighborhoods [J]. Computer Vision and Image Understanding, 1999, 76( 2): 163-172.
  - [23] Viola P, Jones M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features [J]. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2001( 1): 511-518.

[责任编辑: 严海琳]