

一种基于混合布局策略的高校教师业绩数据可视化方法

丁维龙 薛莉莉 陈婉君 吴福理

(浙江工业大学计算机科学与技术学院 杭州 310023)

摘要 高校教师的业绩数据对于教师的考核评优、薪资提升、岗位聘任和职称晋升等人事决策具有十分重要的作用。针对其兼具复杂层次特征和多维属性的特点,提出了一种基于圆形嵌套图和平行坐标的 VPM(Venn Parallel Coordinates Mixing)混合可视化方法。该方法首先采用基于 D3 布局算法的圆形嵌套图表示层次结构,而后划分叶子节点的圆周为不同的属性轴,通过布局设计、属性映射、属性点连接及缩放、高亮等用户交互来实现层次结构中多维属性的可视化。将该方法用于教师业绩数据,实现了对学院、研究所、教师各层级结构的可视化,可清晰展示数据项的细节信息。实验结果表明,提出的 VPM 方法能有效地展示教师的业绩数据,评价结果亦符合实际情况,能帮助系统用户——院校管理者对教师进行更好的管理及业绩考核。

关键词 层次多维数据,混合布局,信息可视化,平行坐标,教师业绩评价

中图分类号 TP391 文献标识码 A DOI 10.11896/j.issn.1002-137X.2019.02.004

Visualization Method for University Teachers' Performance Data Based on Mixed Layout Strategy

DING Wei-long XUE Li-li CHEN Wan-jun WU Fu-li

(College of Computer Science & Technology, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract The performance data of college teachers play an important role in the evaluation of teachers, such as assessment and evaluation, salary increasement, job appointment and promotion of professional titles. Aiming at the characteristics of complex hierarchical features and multi-dimensional attributes, this paper proposed a VPM (Venn Parallel Coordinates Mixing) hybrid visualization method based on circular nested graphs and parallel coordinates to visualize the performance data of college teachers. The method uses a circular nested packed graph based on D3 layout algorithm to represent the hierarchical structure, and then divides the circumference of the leaf nodes into different attribute axes, realizing visualization of multi-dimensional attributes by user interaction such as layout design, attribute mapping, attribute point connection, scaling and highlighting. The method is applied to the teacher performance data, realizing the visualization of the hierarchical structure of the college, the research institute and the teacher, and clearly displaying detailed information of the data item. The experimental results show that the proposed VPM method can effectively display teachers' performance data. The data and evaluation results are also in accordance with the actual situation, which can help the administrators to manage and evaluate teachers in a better way.

Keywords Hierarchical multidimensional data, Mixed layout, Information visualization, Parallel coordinates, Teacher performance evaluation

1 引言

根据教师的岗位职责对其工作表现进行评定是目前国内外高校的普遍做法。通过这种绩效评价方式,不仅可以为教师的人事决策提供依据,也可以帮助职能部门及时发现并解决教师在工作中存在的问题^[1],有利于促进教师业务能力的不断提升。目前,我国高校对教师业绩的评定主要从定性和定量两个方面进行^[2]。前者运用综合分析的形式,主要通过行政评价或同行评价对被考核人员进行概括性的描述,主观

性较强,不利于调动教师教书育人及科研创新的主动性和积极性;而后者则是运用数据形式,主要通过指标化评价或科研计量评价对被考核人员的各项考核因素进行量化,采用计分考评、民主考评、奖惩考评等方式获取考核结果,更具客观性和说服力。因此,业绩量化计分方式已成为目前高校中应用较为广泛的教师业绩考核方式^[2]。一般地,高校教师的年度业绩可以进行量化,然后通过数字来反映。然而,传统的图表模式的教师业绩呈现方法存在诸多问题:无法直接对比不同教师的业绩,不能为学院领导提供直观的、一目了然的可视化

到稿日期:2018-09-14 返修日期:2018-12-24 本文受国家自然科学基金项目(61571400,31471416),浙江省自然科学基金项目(LY18C130012)资助。

丁维龙(1975—),男,博士,教授,博士生导师,CCF会员,主要研究方向为虚拟植物建模,E-mail:wlding@zjut.edu.cn(通信作者);薛莉莉(1994—),女,硕士生,主要研究方向为数据可视化;陈婉君(1982—),女,硕士,讲师,主要研究方向为计算机应用;吴福理(1976—),男,博士,副教授,主要研究方向为计算机图形学、可视化。

图形,也不能展示教师在其职业生涯或聘期内的发展趋势。因为使用传统的可视化手段已无法解决这些问题,所以亟需引入新的有效的方法,以对教师业绩进行可视分析。

近年来,数据可视化技术蓬勃发展,应用此技术可以直观、高效地呈现数据,提高人们对数据获取的时效性、准确性和利用率^[3]。目前,数据可视化技术已经被应用于很多领域,如交通、教育、医学、商业等。借助数据可视化技术,可以分析城市出租车的分布及流向,帮助交通部门进行交通调整及车流控制^[4];可以挖掘用户情感数据,对微博用户进行情感分析^[5-6];可以分析各地区房价、地区收入数据的变化^[7]。三维医学可视化技术已能够辅助医生进行学习及手术^[8]。作为一种有效的数据呈现方式,数据可视化技术已成为当前重要的研究课题^[9]。

目前,已有学者将数据可视化技术应用于教师科研工作业绩的评价。比如,文献^[10]针对目前科研评价中可视化技术应用的不足,改进了传统合著关系的可视化呈现方式,从学术关系的构建和可视化角度综合考察被评价对象科研成果的数量、质量和影响力。文献^[11]深入研究了 CNKI 数据库中 2004—2014 年 CSSCI 期刊上有关教师专业发展的文献,从发文数量和年份分布、期刊来源分布、作者分布及关键词等维度进行计量和可视化分析。但这些可视化工作只考虑了影响教师业绩的一部分因素,并未将教学、项目、专利对教师业绩的影响纳入评价模型,且可视化图形不能展示业绩细节数据,因此本文从这两方面着手,建立教师业绩综合评价模型,并对细节数据及评价数据进行了有效的可视化展示。

教师业绩数据属于层次多维数据。针对教师业绩数据的这种复杂特性,文中提出了一种基于圆形嵌套图和平行坐标的 VPM(Venn Parallel Coordinates Mixing)混合可视化方法。该方法采用基于 D3 布局算法的圆形嵌套图表示层次结构,划分圆周为不同的属性轴,通过布局设计、属性映射、属性点连接及用户交互来实现层次结构中多维属性的可视化。将该方法用于教师业绩数据,可视化其年度综合业绩点,为学校或学院评价教师的贡献提供了有效的分析工具。此外,提出的 VPM 技术也可用于其他领域的层次多属性数据的可视化。

本文第 2 节描述了教师业绩综合评价模型;第 3 节介绍了教师业绩可视化方法;第 4 节为实验结果与分析;最后总结全文。

2 教师业绩综合评价模型

对于高校教师而言,“业绩”是指教师在教书育人的过程中所产生的教学成果、科研成果、学生的素质水平以及外部影响力等诸多能体现其工作质量的代表性成绩^[12]。由于学生的素质水平及外部影响力主要靠定性评价,很难量化,本文从易于量化的教学和科研工作着手对教师每年的工作业绩进行可视化,主要包括其一年内所讲授的课程、所承担的科研任务、发表的论文、出版的论著以及获得的发明专利、软件著作权。首先对每部分内容进行量化处理,得出其对应的业绩点值;然后将其汇总,得出该教师的总业绩点值。

一般地,教师承担的项目根据其来源不同,可划分为纵向科技项目和横向科技项目两种类别。其中,纵向科技项目为上级科技主管部门或机构批准立项的各类计划(规划)、基金

项目,包括国家级、省部级、市级和省厅局级项目。此类项目是衡量一个单位或一位教师科研水平的重要指标,具有很高的权重价值^[13]。而横向科技项目则是由社会需求单位委托的科学研究、技术咨询、开发或服务等项目。令 Z_i 为某教师一年内所承担的纵向科技项目的到款额, H_i 为其一年内所承担的横向科技项目的到款额, W_i 为不同类型项目对应的权重系数, N 和 M 分别为该教师某年度主持的纵、横项项目的个数, Q 为单位到款额(如 Q 为 10 万元表示该校将 10 万元记作一个绩点值),则项目绩点的计算式为:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N W_i Z_i + \sum_{i=1}^M W_i H_i}{Q} \quad (1)$$

论文的业绩点根据其发表的学术期刊的层次而定。本文将其分为权威期刊、一级核心期刊、核心期刊、SCI 期刊、EI 期刊等不同类别,每个类别赋予不同的权重系数。令 P 表示某教师某年内总的论文业绩点数, X 为该教师发表的总论文数量, G_j 为该教师所发表的各论文对应的绩点值,则有:

$$P = \sum_{j=1}^X G_j \quad (2)$$

本文中的专利分为发明专利和软件著作权,每个类型赋予一定的业绩点数。令 F 表示某教师某年内总的专利业绩点数, Y 为该教师年度内获得的发明专利的数量, T 表示所获软件著作权的数量, C_w 为发明专利对应的绩点值, C_x 为软件著作权对应的业绩点值,则有:

$$F = Y C_w + T C_x \quad (3)$$

教学业绩点由不同的教学类型构成,由该教师所承担的课堂教学学时、实验课时、毕业设计指导的人数、发表的教学论文数量以及出版教材的数量共同决定。对每种类型的教学工作都赋予一定的绩点,令 Y 为教学总数量, U_i 为不同教学类型所对应的绩点,则教学业绩点 T 的计算式为:

$$T = \sum_{i=1}^Y U_i \quad (4)$$

在获得项目、论文、专利和教学各部分的绩点后,该教师在某个年度(t)内总的业绩点 $G(t)$ 为:

$$G(t) = R(t) + P(t) + F(t) + T(t) \quad (5)$$

3 教师业绩数据可视化方法

首先获得各年度教师的业绩数据,然后对其进行预处理操作,再根据教师业绩评价模型计算得出各个组成部分的业绩点以及总的业绩点,接着基于圆形嵌套图和平行坐标两种可视化布局,结合具体的业绩点数据信息对其进行可视化展示,系统流程如图 1 所示。以下主要介绍这种混合可视化方法中涉及的布局设计、属性映射、属性点连接及用户交互等关键问题的思路。

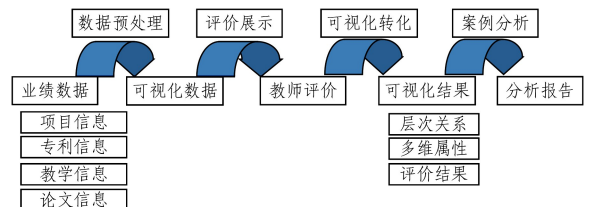


图 1 系统流程图

Fig. 1 Flowchart of system

3.1 布局设计

如前文所述,教师业绩数据属于层次多维数据。针对层次多维数据的可视化展示,一般选用混合布局实现,即将层次数据可视化布局和多维数据可视化布局结合进行展示。节点链接法和空间填充法是用于展示层次数据的方法^[14]。空间填充法是为了表达节点的父子关系,将子节点整个封装于父节点中的层次结构可视化方法。树图和圆形嵌套图是典型的空间填充法。Wang等^[15]于2006年提出了一种使用嵌套圆进行树形展示的新方法,相对于树图可视化,该方法展示的层次结构更加清晰且布局更加紧凑。Yi等^[16]于2016年提出一种基于热图和放射环的关联层次数据可视化方法,使用基于节点排序的放射环可视化具有层次结构的数据,并使用多视图联动等交互手段实现对关联层次数据的可视分析。Zhao等^[17]于2015年提出了一种变分圆形树图,使圆形嵌套图支持向下钻取和向上滚动操作,该算法易于实现、计算速度快,提高了空间利用率,且支持自然交互。雷达图、散点图、平行坐标等常用于展示多维数据。其中,平行坐标是多维数据可视化展示的重要方法之一,且应用广泛。它通过多个平行坐标轴表示数据的各个属性,利用各个坐标轴之间的连线,能够快速定位某条数据记录的各个属性值。Fua等^[18]利用层次聚类算法构造分层聚簇树,提出采用分层显示的方法在平行坐标中对数据进行分层显示,从而能够从不同抽象层次上表示数据,有效地减轻了平行坐标中的视觉杂乱问题。Claesen等^[19]提出了将坐标轴灵活移动的方案,用户可以自由地设定坐标轴的布局位置,从而使其不受显示区域的限制。利用这种方法,人们可以通过不断改变平行坐标轴的位置来寻找数据隐藏的规律。Slingsb等^[20]将平行坐标与密度图的思想结合在一起,通过计算平行坐标中直线分布区域的密度,以颜色明亮度来表示线条密度的情况,从而减少了异常数据的干扰。平行坐标可视方法和圆形嵌套布局可以很好地应用于多维数据及层次数据的可视分析,但对于较为复杂的数据,单一的布局无法满足其所有属性可视化的需求。选用混合布局算法能够实现可视化算法之间的互补,从而更好地显示数据的复杂特征。Watanabe等^[21]于2017年提出了一种将平行坐标与散点图相结合来展示多维数据的可视化技术,以此减少多目标优化过程中的变量对。董重等^[22]提出基于平行坐标系的多变元时序数据可视化方法,通过时间维分段、视觉聚类 and 颜色绘制3个步骤对多变元时序数据进行处理,从而得到可视化结果。2016年,陈谊等^[23]提出了一种将树图和平行坐标结合的MCT技术,采用树图表示层次结构,用树图中节点矩形的边作为平行坐标的属性轴,借鉴平行坐标的思想表示多维数据。

3.1.1 混合布局

教师业绩数据的可视化需将层次数据和多维数据的展示布局进行结合。对于层次多维数据集的展示,首先要分析其具有的复杂结构特征,快速显示符合结构数据集的整体视图,同时要能够方便地查看细节信息,并提供交互手段进行可视分析。

一般地,一所大学拥有若干个学院,学院则拥有若干个研究所或系,而研究所或系则拥有若干位教师,有的学校的系还可以继续划分为若干个教研室。为展现隶属于某个大学某学

院某个研究所的若干位教师的年度业绩数据,我们首先用D3.js绘制圆形嵌套图,按照“学校-学院-研究所-教师”这样的层次结构来组织数据,层次结构中的每个节点都用一个圆形来表示,从而形成多层嵌套圆。每个展示教师业绩的圆则拥有4个叶子圆,分别代表4个评价指标,即教师一年内获得的项目、发表论文、教学和专利。

上述任意一个评价指标都包含若干个属性,例如发表论文指标包括论文所属教师姓名、论文名称、论文发表刊物等级、论文发表年份以及相应的业绩点等。我们采用平行坐标的思想^[24],根据该评价指标中属性的个数对最里层的叶子圆进行圆周划分,将各个叶子节点的圆周平均划分成若干个圆周段。随后,根据属性的类型确定圆周刻度。本文规定刻度按照顺时针方向由小变大。在此基础上,根据某个评价指标的各属性值大小确定其在圆周上的位置,再将各个位置连接起来,从而形成一个闭合图形。当数据无法在当前有限的分辨率下完整展示时,用户若想了解某个教师的某个评价指标的具体信息,只需点击叶子圆即可,布局将会对被点击的叶子圆执行放大操作。我们在每条数据上都添加了标签,以罗列数据的细节信息。为了清晰地展示各位教师的数据,便于比较教师的单个评价因素,使用灰度等级标注各个评价因素。

3.1.2 连续属性刻度划分算法

教师业绩数据中4个评价指标的对应属性中,有的属于连续属性,如教师的综合业绩值、项目的到款金额等,有的属于离散属性,如年份、专利类型等。如果不考虑数据的分布密度属性,平均划分圆周,可能会造成可视化界面过于杂乱。例如,元数据中的数值分布若集中在某一个区间内,则会导致该圆周段中闭合图形的重叠覆盖。为使界面相对清晰并充分利用每个属性所得的圆周,本文提出了一种基于频率分布的连续属性不均匀区间分布算法。此处的频率是指该属性在一段数值区间内出现的次数。因数据具有不确定性,首先需要从原数据中读取属性值的最大值和最小值,然后根据属性个数平均划分圆周,如图2所示。算法的思路如下:

步骤1 连接数据,分别找到4个评价因素的各个属性相对应的数值最大值和最小值;

步骤2 将读取的最大值和最小值分别作为该属性的圆周开始点和圆周结束点;

步骤3 将圆周区间分成多个较小的区间,确定数据落在这些区间上的频率;

步骤4 根据频率确定区间刻度的划分。

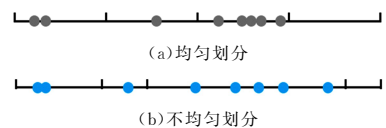


图2 均匀划分与不均匀划分的比较

Fig. 2 Comparison of uniform division and uneven division

3.1.3 离散属性刻度划分方法

若属性取值为离散值,则本文将采用均匀划分的方式对离散属性进行划分。若属性A具有k个离散值,去重之后剩余u个离散值,假设该属性对应的圆心角为 θ ,整个圆的周长为L,圆周要展示的属性个数为k,则两个离散属性之间的圆周距离为 $\theta \times L / (360^\circ \times u \times k)$,在此基础上即可进行离散刻

度的划分以及刻度标识。

3.1.4 属性点重复

按属性的个数对圆周进行划分,假设属性值按圆周顺时针方向由小变大,而属性之间没有空白区域,则会造成两个相邻属性值的点重叠于同一刻度值处,从而导致属性值归属不清。为避免这种情况的发生,需要对属性值的有效区域进行重新设定。采用固定长度缩进的形式,在属性分割的刻度两边预留一定的空白区域。若整个圆周的周长为 L ,且评价因素拥有 4 个属性,则一个属性轴的长度为 $L/4$,我们在属性分割的刻度两边分别预留 $L/40$ 的长度不进行属性分割。

3.2 用户交互策略

为了清晰地展示每个层次数据的细节特性,本文算法针对可视化界面设计了一定的交互操作。首先对用户点击的焦点进行定位,确定其点击的是哪个层次,然后显示该层的数据信息。此处主要通过缩放的形式进行逐层数据展示。当用户点击到最里层时,将展示该指标数据的多维属性。因数据多维属性的展示是以闭合图形的方式进行的,故数据量增大容易造成大量的线条都连接到一个刻度,从而导致视觉混乱。为弥补该缺陷,本文对用户点击的线条所在的闭合图形设计了高亮显示。

3.3 评价指标比例构成

根据前文所述的评价指标各自所占总业绩点的比例关系,可以方便快捷地判断出一位教师或一个研究所是科研型还是教学型,这有利于学校或学院对教师进行分类管理。为了可视化评价指标数据的比例构成关系,设计了一个可以显示 4 种比例构成的圆环图,图中的每种评价指标都用一种灰度等级进行标识,如图 3 所示。每个研究所和每位教师都拥有这样一个圆环图,根据不同颜色的区域的大小,可以清晰、直观地判断出某个研究所或每位教师所属的类型。图 3 中, B 老师的 4 个评价因素中项目因素的占比较高,因此判断该教师是科研型。

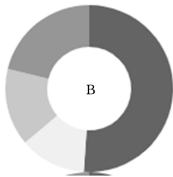


图 3 评价指标比例构成图

Fig. 3 Composition of evaluation index ratio

4 实验结果及分析

4.1 实验数据及实验环境

本文采用了某学校某学院 2012—2015 年间的教师业绩数据进行应用测试。算法涉及的数据包括该学院的 188 人和超过 5000 条数据记录。在对教师业绩数据进行可视化之前,需要对其进行预处理操作。2012—2015 年间,因为教师所属的研究所以及期刊的等级发生过变动,数据中存在很多不一致的地方,所以首先对数据不一致的情况进行了修正,然后对数据中存在的明显错误、属性值缺失以及离群点等进行了相关处理。在对数据进行清洗的基础上,将其转换成 json 数据格式,再利用转换 excel-to-json 工具,编写转换格式得到本文所需的数据集。将预处理好的数据根据教师业绩综合评价模

型计算得到各教师、各研究所的业绩总和。在前文所述方法的基础上,基于 D3.js,html5,CSS 和 AppServ 开发了一种基于混合布局策略的高校教师业绩数据可视化系统。硬件环境为:硬件配置为 Intel Core i7-7700(3.6 GHz)CPU,32 GB 内存,NVIDIA Quadro P600 显卡(2GB 显存)。

4.2 教师业绩数据的可视化展示

对于“学校-学院-研究所-教师”4 个层次的数据展示,圆形嵌套图的全貌如图 4 所示。图 4 中,最外层圆代表一个学校;第 2 层有 3 个圆,代表 3 个学院;第 3 层有 8 个圆,代表该学院有 8 个研究所;每个研究所又包含若干个圆,代表该研究所拥有的教师数。每位教师拥有 4 个最小的叶子圆,分别代表 4 个评价因素的业绩情况。其中,教师层次的信息展示如图 5 所示,用户若想了解某位教师的某个评价指标的具体信息,只需点击相应的叶子圆即可。

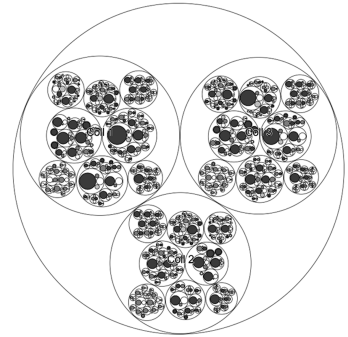


图 4 层次展示图

Fig. 4 Hierarchy display

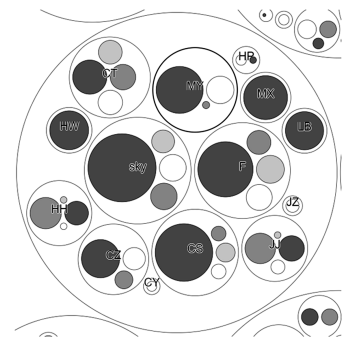


图 5 教师层次展示图

Fig. 5 Teacher level display

图 4 中,各圆的半径与教师的业绩成正比。比如,最小的叶子圆的半径由该评价指标的业绩值决定;第 4 层的圆的半径由该教师的综合业绩点决定;描述研究所业绩情况的第 3 层圆的半径由该研究所所有教师的综合业绩点的总和决定;相应地,最外层圆的大小由全体教师业绩点的总和决定。因此,通过观察第 4 层圆的大小可以直观地比较教师的业绩情况。比如,若 A 老师的论文评价圆的半径比 B 老师的大,则说明 A 老师的论文成就相对 B 老师更加突出。

为展示教师业绩数据的具体信息,使用平行坐标的方式进行可视化表达。闭合图形线的粗细代表此条数据业绩点的大小,线条粗细与业绩点的大小成正比。如图 6 所示,外层字体表示属性类型,展示了论文的 3 个属性,分别为论文类型、发表年份、论文对应绩点。里层的黑色字体展示了属性的各

个值,如论文类型分为A类、B类、学术专著等。当用户将鼠标悬置在连线上时,标签信息会显示出这条数据项所有的信息。图6展示了某位老师2013年发表了一篇A类论文,获得的业绩点为0.2。

我们设计了可以显示4种评价指标比例的圆环图,以显示指标数据的构成比例关系。图7显示了8个研究所(上面2排)和44位教师(下面4排)的业绩构成。用户根据不同颜色的区域的大小,不仅可以直观地获得该研究所或教师的业绩构成情况,还可以方便且准确地判断出该研究所或教师是科研型还是教学型。点击业绩构成比例图,系统会展示该教师这些年的综合绩点的变化情况,如图8所示。学校或学院管理者可以通过该教师近年来的绩点变化情况,直观地判断

出其未来业绩的发展趋势。

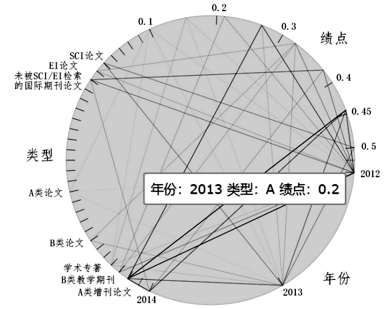
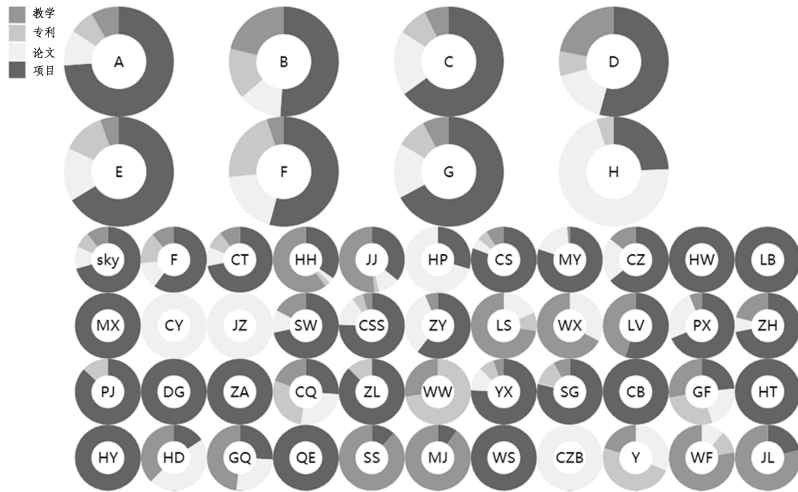


图6 标签显示图
Fig.6 Label display



注: A-H 表示研究所,其余的表示教师

图7 研究所和教师的业绩构成比例图

Fig.7 Composition ratio chart of research institutes and teachers' performance

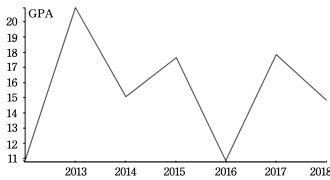


图8 教师绩点变化图

Fig.8 Change of teacher's grade point

4.3 讨论

目前,我国高校对教师业绩的评定途径较多且各有优缺点。本文的主要目的并不是研究教师业绩的评价方法,而是基于现有的业绩量化思想研究教师业绩数据的可视化方法,以期通过对教师业绩数据的可视化表达和分析来为高校管理者进行人事决策提供新的辅助手段。因此,从大学教师业绩评价体系和评价方法的角度来看,本文建立的教师综合评价模型势必存在很多不足之处。例如,在科研的评价指标方面仅仅考虑了论文、项目和专利,显然除这几种外,学术著作、成果奖励、学术交流等也应该纳入指标体系。再如,评价指标的权重设置的合理性也有待进一步探讨。尽管本文对刻度分布进行了频率分布的调整,但数据量特别大时会造成圆中的闭合图形相互交叉重叠以及线条杂乱,从而影响数据展示,针对这些问题,后续我们将使用边捆绑算法进行优化;其次,只能基于评价对历史数据进行总结与分析而不能进行预测;另外,

数据加载速度亦不够快。这些问题都将有待更加深入的研究。

对教师业绩数据进行处理后的数据格式是 json 文件,它是一种轻量级的数据交换格式,使用完全独立于编程语言的文本格式来存储和表示数据。Json 数据格式具有简洁和清晰的层次结构,正好契合了本文中圆形嵌套图的层次表示。但其不足之处是没有将系统作为一种通用性可视化工具,使其能接受任何数据格式的数据集。

结束语 为了可视化具有复杂层次结构和多维属性的教师业绩数据,本文提出了一种结合圆形嵌套图和平行坐标的VPM可视化方法。通过对圆周进行属性划分,解决了层次多维可视化中多维属性不能超过四维的问题,并提高了空间利用率,使圆形嵌套布局在显示数据层次结构的同时能够展示更多数据维度的信息,从而实现以下分析任务:1)展示业绩数据的细节信息和层次结构;2)对教师业绩进行评价与分析;3)展示评价后的数据构成比例和教师绩点的变化趋势。

参考文献

[1] LI C H. Performance Evaluation of American College Teachers [J]. Journal of National Academy of Educational Administration, 2007, 113(5): 91-95. (in Chinese)
李长华. 美国高校教师绩效评价[J]. 国家教育行政学院学报, 2007, 113(5): 91-95.

- [2] XI Y H, ZHANG D, SITU W E. A Review of Research on University Teachers' Scientific Research Performance Evaluation System[J]. Science and Technology Management Research, 2011, 31(10): 71-76. (in Chinese)
席与亨, 张丹, 司徒唯尔. 大学教师科研业绩评价体系研究综述[J]. 科技管理研究, 2011, 31(10): 71-76.
- [3] ZHOU J G. Application of Data Visualization Technology in Government Big Data[J]. Computer Knowledge and Technology, 2018, 14(18): 273-274. (in Chinese)
周建功. 数据可视化技术在政务大数据中的应用研究[J]. 电脑知识与技术, 2018, 14(18): 273-274.
- [4] LIU D, WENG D, LI Y, et al. SmartAdP: Visual Analytics of Large-scale Taxi Trajectories for Selecting Billboard Locations[J]. IEEE Trans Vis Comput Graph, 2017, 23(1): 1-10.
- [5] CAI L, PAN J, WEI B L, et al. Visual Analysis of Spatio-temporal Patterns and Emotional Changes in Hot Spots of Sign-in Data[J]. Small Computer Systems, 2018, 39(9): 1889-1894. (in Chinese)
蔡莉, 潘俊, 魏宝乐, 等. 签到数据的热点区域时空模式与情感变化的可视化分析[J]. 小型微型计算机系统, 2018, 39(9): 1889-1894.
- [6] LIU Q H, CHAI Y M, LIU W. Chinese Weibo sentiment analysis model SR-CBOW[J]. Small Computer Systems, 2018, 39(8): 1693-1699. (in Chinese)
刘秋慧, 柴玉梅, 刘箴. 中文微博情感分析模型 SR-CBOW[J]. 小型微型计算机系统, 2018, 39(8): 1693-1699.
- [7] SUN G D, LIANG R H, HE X G, et al. Visual Analysis of High-dimensional Real-time Real-time Data[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2013, 25(8): 1169-1176. (in Chinese)
孙国道, 梁荣华, 何贤国, 等. 高维时空房地产数据的可视分析[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2013, 25(8): 1169-1176.
- [8] ZHOU Z J, LU T, XU K, et al. Clinical application of visualized puncture system in percutaneous nephrolithotomy[J]. Journal of Clinical Surgery, 2016, 24(9): 700-702. (in Chinese)
周治军, 卢童, 徐康, 等. 可视化穿刺系统在经皮肾镜碎石术中的临床应用[J]. 临床外科杂志, 2016, 24(9): 700-702.
- [9] 陈为, 张嵩, 鲁爱东. 数据可视化的基本原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [10] WANG Y G, LIU Y Q, WANG X F. Research on Visualization Method of Academic Relationship for Scientific Research Evaluation[J]. Science of Science and Management of S. & Technology, 2014, 35(5): 13-18. (in Chinese)
王有国, 刘玉琴, 汪雪锋. 面向科研评价的学术关系可视化方法研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2014, 35(5): 13-18.
- [11] SUN D M, GU X Q. Overview and Prospects of Teacher Professional Development Research in China—Based on Measurement and Visualization of CSSCI Journals from 2004 to 2014[J]. Journal of Education and Teaching Research, 2017, 31(1): 71-76. (in Chinese)
孙冬梅, 谷秀琴. 我国教师专业发展研究的概况与展望——基于2004—2014年CSSCI期刊的计量及可视化分析[J]. 教育与教学研究, 2017, 31(1): 71-76.
- [12] YUAN Y. Evaluation and Incentives of Teachers in Southwestern University of Finance and Economics[J]. Business, 2014(3): 217-217. (in Chinese)
袁媛. 西南财经大学教师业绩评价及激励[J]. 商情, 2014(3): 217-217.
- [13] BAI H N. Research on Comprehensive Evaluation of Scientific Research Level in Colleges and Universities[D]. Baoding: North China Electric Power University (Baoding) North China Electric Power University, 2011. (in Chinese)
白海宁. 高等学校科研水平综合评价研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2011.
- [14] JING M C, SUN J L. Research on Large Level Information Visualization Method[J]. Information Science, 2008, 26(4): 541-545. (in Chinese)
景民昌, 孙清丽. 大型层次信息可视化方法研究[J]. 情报科学, 2008, 26(4): 541-545.
- [15] WANG W, WANG H, DAI G, et al. Visualization of large hierarchical data by circle packing[C]//Conference on Human Factors in Computing Systems. DBLP, 2006.
- [16] CHEN Y, LIN X L, ZHAO Y F, et al. SunMap: an Associated Hierarchical Data Visualization Method Based on Heatmap and Sunburst[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2016, 28(7): 1075-1083 (in Chinese)
陈谊, 林晓蕾, 赵芸芳, 等. SunMap: 一种基于热图和放射环的关联层次数据可视化方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2016, 28(7): 1075-1083.
- [17] ZHAO H, LU L. Variational circular treemaps for interactive visualization of hierarchical data[C]//2015 IEEE Pacific Visualization Symposium (PacificVis). IEEE, 2015.
- [18] FUA Y H, WARD M O, RUNDENSTEINER E A. Hierarchical parallel coordinates for exploration of large datasets[C]//Conf. on Visualization'99: Celebrating Ten Years. IEEE Computer Society Press, 1999: 43-50.
- [19] CLAESSEN J H T, VAN WIJK J J. Flexible linked axes for multivariate data visualization[J]. IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics, 2011, 17(12): 2310-2316.
- [20] SLINGSB Y A, DYKES J, WOOD J. Exploring uncertainty in geodemographics with interactive graphics[J]. IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics, 2011, 17(12): 2545-2554.
- [21] WATANABE A, ITOH T, CHIBA K, et al. A Scatterplots Selection Technique for Multi-dimensional Data Visualization Combining with Parallel Coordinate Plots[C]//Information Visualisation. IEEE, 2017.
- [22] DONG Z, WEI Y M. Visualization of Multivariate Time Series Data Using Parallel Coordinate System[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2015, 36(10): 2408-2411. (in Chinese)
董重, 魏迎梅. 运用平行坐标系的多变元时序数据可视化方法[J]. 小型微型计算机系统, 2015, 36(10): 2408-2411.
- [23] CHEN Y, GENG Y G, HU H Y, et al. A Visualization Method for Multidimensional Attributes in Hierarchical Structures[J]. Journal of Software, 2016, 27(5): 1091-1102. (in Chinese)
陈谊, 甄远刚, 胡海云, 等. 一种层次结构中多维属性的可视化方法[J]. 软件学报, 2016, 27(5): 1091-1102.
- [24] CHEN Y, CHENG X, CHEN H. A multidimensional data visualization method based on parallel coordinates and enhanced ring[C]//International Conference on Computer Science and Network Technology. IEEE, 2011: 2224-2229.