

一种面向临床决策推理的可视诊疗技术*

赵睿^{1,2}, 朱卫国^{3,4,5}, 马翠霞², 滕东兴²



¹(中国科学院大学, 北京 100049)

²(中国科学院 软件研究所 人机交互技术与智能信息处理实验室, 北京 100190)

³(中国医学科学院 北京协和医学院, 北京 100730)

⁴(北京协和医院 普通内科, 北京 100730)

⁵(北京协和医院 信息管理处, 北京 100730)

通讯作者: 赵睿, E-mail: 934067564@qq.com

摘要: 海量医学信息的快速增长已远远超出人类认知能力, 医疗服务环境和用户人群的复杂多样性使得海量数据难以在现有能力和工具的支持下满足广大用户对于信息服务的需求. 临床诊疗服务的可视化、智能化程度不高导致现有的医学知识服务水平难以保证海量资源信息的充分利用. 在分析了临床诊疗环境下人机协同认知特性的基础上给出了一种基于语义层次的信息组织方式; 分析了符合该数据组织模式的可视形态及自然的可视交互技术; 在上述工作的基础上构建了一个面向临床决策推理的可视诊疗分析框架, 并给出了原型系统实例加以验证. 结果表明, 通过结合交互式可视化和自动分析技术, 可以有效地帮助人们从海量数据中获取到有用的信息模式, 减轻人们对数据进行分析的负担, 为医疗诊断过程提供决策支持服务.

关键词: 可视化诊疗; 人机交互; 临床决策; 人机协同; 协同认知; 海量医疗信息

中文引用格式: 赵睿, 朱卫国, 马翠霞, 滕东兴. 一种面向临床决策推理的可视诊疗技术. 软件学报, 2016, 27(Suppl. (2)): 120-129. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/16027.htm>

英文引用格式: Zhao R, Zhu WG, Ma CX, Teng DX. Visualized diagnosing technique for clinical decision-making and reasoning. Ruan Jian Xue Bao/Journal of Software, 2016, 27(Suppl. (2)): 120-129 (in Chinese). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/16027.htm>

Visualized Diagnosing Technique for Clinical Decision-Making and Reasoning

ZHAO Rui^{1,2}, ZHU Wei-Guo^{3,4,5}, MA Cui-Xia², TENG Dong-Xing²

¹(University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

²(Intelligence Engineering Laboratory, Institute of Software, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

³(Peking Union Medical College, Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100730, China)

⁴(Division of General Internal Medicine, Peking Union Medical College Hospital, Beijing 100730, China)

⁵(Division of Information Management, Peking Union Medical College Hospital, Beijing 100730, China)

Abstract: Explosive growth in medical information has exceeded human's cognitive skills and abilities. Traditional information management tools are challenged in satisfying people's needs of information service due to the diversity of clinical service environment and users. The existing medical service is difficult to meet the needs of the massive information processing and utilizing due to the development of intelligence and visualization of clinical service. This paper analyzes the collaborative cognitive feature between human and computer on the basis of scenarios of clinical process; presents an approach to information organization based on semantic; and

* 基金项目: 北京协和医院杰出青年基金(JQ201509); 国家重点基础研究发展计划(973)(2016YFB1001200); 国家高技术研究发展计划(863)(2015AA050204)

Foundation item: Peking Union Medical College Hospital Outstanding Youth Foundation (JQ201509); National Program on Key Basic Research Project of China (973) (2016YFB1001200); National High-Tech R&D Program of China (863) (2015AA050204)

收稿时间: 2016-05-01; 采用时间: 2016-11-21

proposes the technique of visual organization and interaction for large-scale medical data. Moreover, a user-centered visual analysis framework is proposed for clinical decision-making and reasoning. Finally an example of application is given to illustrate how to facilitate users to gain useful insights from the massive data by combining automated analysis techniques with interactive visualizations. Experiments show that visual analytics facilitate users to deal with information overloads and aid medical diagnosis decision.

Key words: visual diagnosis; human-computer interaction; clinical decision-making; human-computer collaboration; cognitive collaboration; large-scale medical information

临床决策支持系统,利用计算机强大的计算、存储能力,通过准确的、有针对性的方式提供给医生诊疗建议,可以减少医疗失误与事故,提高医疗服务质量和效率。然而,当前临床决策支持系统并未得到有效应用,主要原因在于:医学知识获取水平不高、更新滞后;医学知识服务水平难以保证海量资源信息的充分利用;医疗服务环境和用户人群的复杂多样性使得传统的临床诊疗服务流程与模式难以满足广大用户的个性化需求。

同时,随着大数据时代的来临,医疗信息呈现指数增长,已远远超出人类认知能力。海量医疗信息难以在现有能力和工具的支持下,在可接受的时间范围内进行采集、管理和处理。如何有效地应对各种结构化、非结构化数据组成的异构数据体系,是临床诊疗系统在大数据时代所需面临的重要问题之一。

本文针对上述问题,提出了一种面向临床决策推理的可视诊疗分析方法。主要工作体现在:(1) 研究了海量临床诊疗信息的复杂关联关系,给出了一种基于语义层次的信息组织方式;(2) 分析了符合该数据组织模式的可视形态及自然的可视交互技术;(3) 构建了一个面向临床决策推理的可视诊疗分析框架;(4) 给出了系统实例加以验证。结果表明,本文所述方法能够为医疗从业人员提供更加便捷的信息利用方式,辅助其对数据的分析、归纳、整理活动,减轻其对数据进行分析的负担,为医疗诊断过程中提供决策支持服务。

1 相关工作

随着信息化的飞速发展,医学信息在促进医疗事业发展、提高医疗水平和管理水平等方面发挥着越来越重要的作用。医学信息的组织方式与服务方式已经得到较大的改进,人们需要对医学信息资源进行系统化的组织与分析,以方便临床实践人员和医学领域的人员合理、高效地利用这些信息。

斯坦福大学的 MYCIN 系统是第一个功能齐全的临床决策支持系统,在其基础上建立的 PUFF 系统在旧金山太平洋医疗中心得到了长期的应用,是临床决策支持系统成功应用的先例。近年来,随着临床数据的快速积累以及机器学习技术的快速发展,临床决策支持系统得到了快速发展,具有显著改善病人的治愈率和安全性的潜力^[1]。但总体来看,绝大部分系统难以实际应用。一方面是医学知识快速发展,系统难以及时跟进,且其准确率也不能得到用户的信赖;另一方面是大部分系统不能提供良好的人机交互界面,对医生而言操作过于复杂。

可视分析(visual analytics)是信息可视化与科学可视化领域发展的产物,侧重于借助交互式用户界面进行分析推理。Thomas 等人在^[2]一书中详细论述了可视分析的相关理论。可视分析的目标是研究辅助用户分析决策的工具和技术,使用户能够从海量、动态、模糊并且可能存在冲突的数据中综合信息并洞察隐藏的规律和模式。帮助用户检测预期的事件、发现意外事件;制定及时、可靠并易于理解的评估;为指导行动进行有效的评估和交流。国外对可视分析研究得较多且应用广泛,如国家安全、金融行业、商业信息、网络安全、社会关系等。在临床领域,Bui 等人针对泌尿科病人的病历数据,在 TimeLine 的基础上对层次结构的病历进行了集成展现^[3,4]。IBM 开发的电子病历通过将病历从不同粒度进行分层,在不同细节进行展现,并通过人体三维解剖模型展示数据。

纵观这些可视分析系统,虽然已经在某些方面有了很大的改善,但对分析推理过程支持不足,未提供记录思维过程的高效工具,并且对交互任务研究不足,提供的交互方式有限,未将自然、高效的交互方式广泛应用到分析过程中。

2 临床诊疗环境下的人机协同认知特性分析

2.1 人机协同认知特性分析

分布式认知理论认为,分布式认知的分析单元不是个体,而是以共同参与认知加工的各元素间的功能性关系为基础的认知过程^[5].根据这一理论,人机协同认知的关键是合理设计人机分工,降低机器使用者的认知负荷.计算机的优势在于高速计算与海量存储,具有强大的数值计算和逻辑推理能力,但却无法替代人在学习能力、创造能力、归纳总结能力方面的优势.因此需要设计合理的人机分工,充分发挥各个认知个体的优势.我们认为,在人机协同认知中,计算机的任务在于对信息进行过滤和加工,并以人易于理解的方式进行呈现.同时,要提供自然、高效的交互方式,易于人进行信息对比、分析、探索,让人将精力集中于擅长的分析、创造上.

目前的很多临床决策支持系统主要基于业务领域,从数据的高效有序管理和医疗事务的便捷操作出发构建系统.它们较多关注系统的建设成本,而对人类的阅读和认知成本关注不够.这一方面是由于缺乏对信息利用过程中大脑思维过程的深入研究,另一方面是缺乏对人在信息利用与分析过程中的交互习惯和方式的研究,没有充分利用人们长期生活中已经习得的交互方式和手段,导致人在信息利用过程中的思维活动经常被信息搜索和整理等基本活动所打断,干扰了思维活动的有效进行.我们认为,面向临床决策支持的可视诊疗系统需要满足以下要求:

- 1) 能够有效地记录医学证据、假设、断言等分析见解以及它们之间的关联;
- 2) 能够很好地组织专家经验,进而能够支持或者反驳某个观点;
- 3) 能够回顾和修改诊断推理过程;
- 4) 能够将分析过程与可视化界面关联起来;
- 5) 能够利用分析推理过程中的大数据集和病人诊疗历史等数据,为分析推理过程提供智能型支持;
- 6) 能够与他人交流、评估分析发现及分析过程.

2.2 面向最终用户的可视诊疗应用框架

基于上节人机协同认知特性分析,本文围绕人机协同过程中的两个基本要素——信息(可视输出)、交互(输入),构建了一个符合人认知特性的、面向临床决策推理的可视诊疗分析框架(visual analysis framework for clinical diagnosis,简称 VCF),如图 1 所示.其目的在于给出一种适应复杂多样的医疗服务环境和用户人群的、满足个性化需求的临床诊疗信息服务模式,进一步指导此类应用系统的设计与开发.

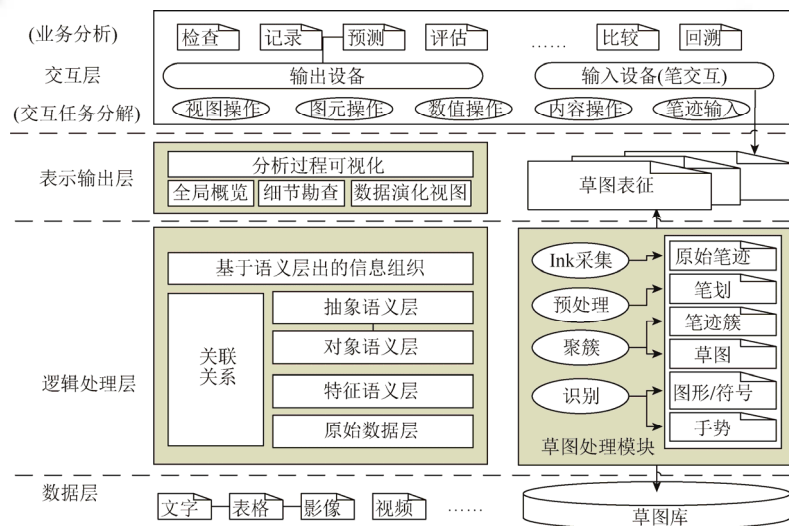


Fig.1 Visual analysis framework for clinical diagnosis

图 1 可视诊疗分析框架

框架 VCF 主要由数据层模块、逻辑处理模块、表示输出模块、交互策略模块这 4 部分构成,其中,数据结构定义如下。

定义 1. $VCF = \{DataObj, LPModular, View, InteractiveStrategy\}$, 其中,数据对象 DataObj 由领域信息对象 DoObj 和草图信息 Sketch 两大类构成。

定义 2. $DataObj = \{DoObj, Sketch\}$ 。

临床医学领域信息 DoObj 处于底层数据层,在系统中这部分数据对用户来说是抽象的、不可见的,需要经过数据处理到达表示层得以输出。

定义 3. $DoObj = \{Data, Type, Relation\}$, $Type = \{Text, Graph, Symbol, Image, Video, et al.\}$ 。

基于笔交互时,输入设备将采集的原始点集数据转换成具有语义信息的草图,数据流从最初的原始采样点依次经过上述 4 个模块的处理,转化成原始笔迹、笔划、笔划簇、识别后的语义对象(图形、文字或手势),原始笔迹经逻辑处理层识别、理解后转化为具有一定语义的几何图元、符号,或由它们组合而成的具有较完整语义的信息。

定义 4. $Sketch = \{Graph, Symbol, Ink, Gesture\}$ 。

数据逻辑处理层 LPModular 将数据容器分为领域信息容器 InfoContainer 和草图信息容器 SketchProc。

定义 5. $LPModular = \{InfoContainer, SketchContainer\}$ 。

领域信息容器 InfoContainer 根据承载数据信息特征和作用的不同,基于特定的语义层次划分为原始数据容器 OriContainer、特征语义层 FeaContainer、对象语义容器 ObjContainer 和抽象语义容器 AbsContainer 这 4 类,采用多层结构加以有效组织。

定义 6. 领域信息容器 $InfoContainer = \{OriContainer, FeaContainer, ObjContainer, AbsContainer\}$ 。

草图信息容器 SketchContainer 主要实现对 ink 笔迹的采集、识别和理解,从而将一组点组成的 ink 笔迹识别为机器可理解的信息或执行的手势命令。

定义 7. 草图信息容器 $SketchContainer = \{InkCollection, InkPreProcess, Cluster, SketchUnderstand\}$ 。

由于可视分析诊疗应用适合于采用笔交互,符合分析决策人员自由书写的交互习惯,可视视图 View 的信息输出多以 Paper 为基础, Paper 由多个框 Frame 组成,每个 Frame 都是一组相关数据的集合展示,视图的类型 FrameSet 可以是全局概览视图、细节勘查视图、数据演化视图以及过程视图等。

定义 8. 可视视图 $View = \{Paper, Canvas, Editor, Dialog, \dots\}$, $Paper = \langle No, FrameSet \rangle$, $Frame = \langle FID, FType \rangle$, $FType = \{OverView, DetailView, EvolutionView, et al.\}$ 。

交互策略 InteractiveStrategy 在临床诊疗业务分析结果的基础上定义了一组在特定物理交互设备 PHYDevice 上执行的交互任务 InteractiveTask。

定义 9. 交互策略 $InteractiveStrategy = \{PHYDevice, InteractiveTask\}$ 。

可视诊疗分析框架 VCF 基于 MVC 理论将数据在逻辑上实现底层结构、分析处理和上层可视输出的分离,有利于应用系统根据实际数据特点或业务需求进行扩展或修改,第 3 节将重点介绍如何基于信息的分层组织实现框架 VCF 中信息的表示输出与交互两个方面。

3 可视诊疗关键技术

3.1 基于语义层次的临床信息组织与可视化

数据可视输出形态作为原始数据和人类认知之间的转化通道,对用户的客观分析和主观决策都具有重要的辅助作用,医疗信息资源包含各种复杂类型信息(如文字、表格、ink 笔迹、影像等),其海量性体现在大规模存储和离散形式存在,因此对其组织模式有其特定的需求,主要体现为:(1) 自动化处理,手工方式处理如标注等已不能满足海量信息资源组织的需要。(2) 模式提取,这些数据之间存在多个属性维度的关联,这些关联关系往往包含了重要的经过完善和实验验证的知识,在海量非结构化数据环境下,抽取这些关联关系可以有效地降低数据规模。(3) 语义集成,传统的信息组织与存储方式难以有效地体现海量复杂信息资源间的语义和特征关联,不能高效和可靠地支持诊疗过程中信息的快速获取和分析,基于上述分析,本文通过不同粒度的可视组件实现

对复杂医疗信息资源的有效组织.

针对具有复杂关联关系、包含非结构化数据的医学信息资源,本文构建了一种基于语义层次模型的医疗信息资源组织方式,实现对海量医疗信息资源及其复杂关联关系的有效组织.其中,如何在有限的空间内展示海量规模数据,在呈现局部结点细节时兼顾全局的视图特征是研究重点.

Marville 指出,人类通过分类来理解事物,层次结构是认知行为的基础^[6].通过展示信息的层次结构,能够帮助用户快速把握信息的整体情况,更好、更快地理解大量信息.层次结构在数据结构中一般抽象为树形(tree)结构,是一种以分支关系定义的非线性结构.Ten 等人针对如何将海量信息按不同语义粒度加以组织,以便于数据质量分析活动的问题展开研究,通过聚簇导航、模式概览、范式分析这 3 个阶段实现了符合人类认知过程的分析模式^[7].本文在上述工作基础上,基于 Amato 等人提出的分层数据模型^[8],根据医疗信息语义粒度大小不同,对海量信息采用多层结构组织.这里将其分为 4 个层次:原始数据层、特征语义层、对象语义层和抽象语义层.

原始数据层:指数据的基本信息,是内容最基本、最直接的表达,但其中的非结构化数据难以实现直接快速计算.

特征语义层:指数据的基本特征.以图像类信息为例,主要指图像的低层视觉特征,如颜色、纹理、形状、空间关系及其组合等.

对象语义层:主要包括通过识别和推理找出的信息中的对象或类及其相互间的关系.

抽象语义层:通过对医疗信息所描述对象、应用场景及目标进行高层推理,得到的相关语义,例如语义病症、临床路径等.

由于医疗信息的海量规模要求可视展示技术具有较高的空间利用率,能够在有限的空间内展示更多的结点;另一方面又是一种“所见即所得”的可视结点,需要分配给结点一定的细节展示空间.在进行海量医疗信息显示时,既要能突出焦点结点的细节,又不能忽略深层处于语义边缘作为全局上下文语境的结点内容.本文采用一种基于径向布局的组织概览视图,实现层次数据的全局展示.对不同层次的结点,根据用户关注度分配不同的细节展示空间.其中,焦点区域位于球的顶点,具有最大的细节展示空间;层次较深的结点,展示空间随其关注度降低而减小.如图 2 所示.

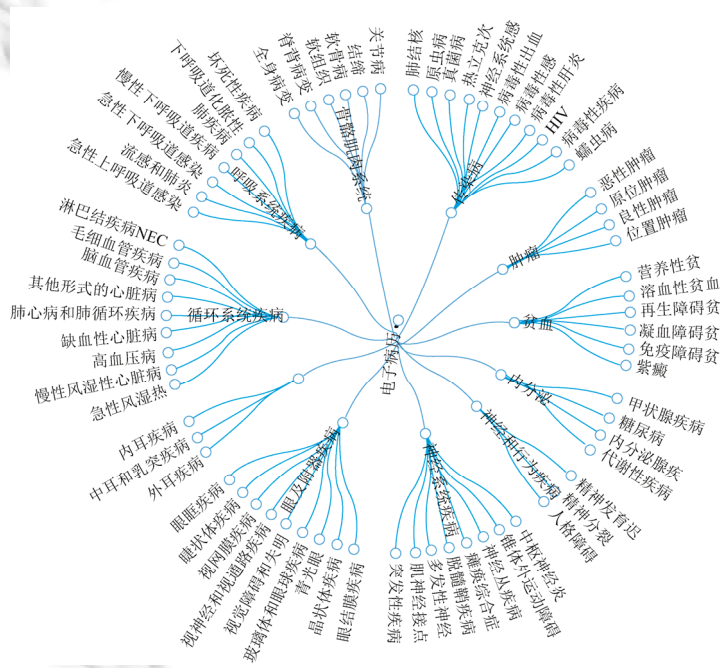


Fig.2 Visualization of global content
图 2 全局视图

针对临床诊疗个案,分析人员倾向于从时间维度了解个案的发展变化过程与细节信息.本文给出了数据演化视图,从时间维度展示用户感兴趣部分的数据演变过程,通过 Timeline 可视形态将用户感兴趣的临床数据在时间维度上进行详细展示,为细节探查分析提供时间相关的辅助信息,如图 3 所示.本文所使用的 Timeline 布局采取时序数据的线性表达方式,将某一临床文档随时间产生的数据实例在横向时间轴上按时间顺序进行排列,同时采用冲突避免算法计算数据的纵轴坐标,以达到使横轴上互相靠近的数据在纵轴排列上尽可能分散排列的目的,避免数据结点的重合显示.

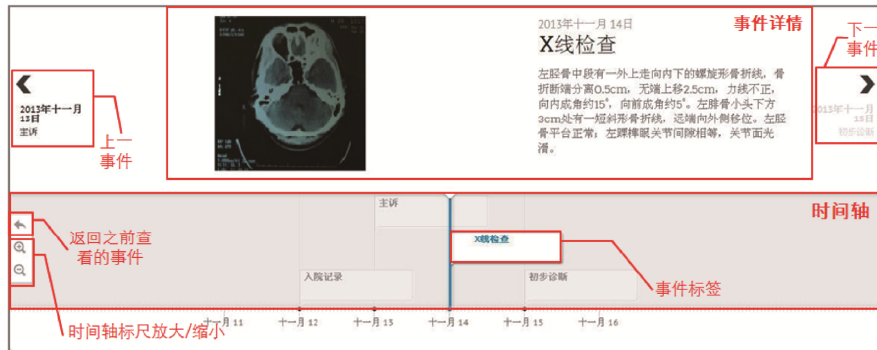


Fig.3 Visualization of data evolution

图 3 数据演化视图

3.2 以用户为中心的交互任务分解

在临床诊疗服务中,医生通过人机交互来完成诊断决策目标^[9],其中医学信息的可视形态及其界面操控^[10]方式以及交互动作的时序关系等因素对诊断决策的结果和效率都有着重要的影响.

由于诊疗活动的环境和人变化多端,要满足所有人对于临床诊疗过程中的交互需求是一个巨大的挑战.本文从最基本的任务来对医学诊疗活动进行分解,对临床诊断决策时的交互行为进行抽象与分类,建立了临床诊疗过程的基本交互任务集(见表 1),并设计实现了用户可定制的自然交互界面,使得用户能够更好地理解与分析所面临的诊断问题.

Table 1 Basic interaction tasks set on the process of clinical diagnosis and treatment

表 1 临床诊疗过程的基本交互任务集

动作	情境
检查	查看病人病情现状以及病史
记录	记录病人的病情和历史
解释	找出已发生事实的原因
预测	针对新加入事实所给出的推导
评估	估计事实的真实情况
比较	与标准数据对比
判断	确定条件的过程
回溯	回到之前的步骤

检查和记录经常在医患会诊时进行,是医疗活动中病人病情的来源;解释是给诊疗活动中的所有人执行的,通常由医学知识库提供知识来辅助用户的解释;预测是由医生来完成对于病情发展的一种假设,以便于进行诊断推理;评估是由医生对所发生的事实进行估计,认定其严重程度等;判断任务也是由医生来完成,对于两条诊断路线,医生需要凭借经验为诊疗做出决策;回溯动作是在对病人的病情有不同的认识,或者之前的预测发生偏差时,对之前所执行的诊断任务进行回溯,从回溯的目的点开始继续执行.整个过程中,不同的任务中会有不同的诊疗信息显示,但整个执行任务的过程在诊断推理过程中是非常重要的.

3.3 分析推理过程可视化

Shneiderman 提出了可视分析过程的核心思想:overview first, zoom and filter, and then details-on-demand,即先看全局,放大并过滤信息继而按要求提供细节,描述了通过交互式可视分析进行大量数据探索的基本模式^[11].在临床诊疗决策活动中,海量数据的组织结构随着分析者认知过程的推进而不断清晰和优化,分析者通过一系列认知分析行为得出数据组织结构的相关结论,并对现有结构中的不合理之处进行相应的调整.由于这是一个不断迭代循环的过程,后续分析活动将基于已有的分析结论和结构调整进行,这就更加需要多个视图提供实时的系统反馈,将用户的结构调整操作实时地反馈在视图界面中,使得可视形态可以成为某种外部内存,帮助人们在人脑之外保存阶段性成果和待处理信息,从而补充人脑有限的记忆内存,提高认知和分析效率.基于此分析,本文将多个具有语义关联的视图同时提供给用户(如图4所示),将诊疗推理过程以视图的形式加以描述,模仿专家的抽象思维,使用户可以同时从不同角度、采用不同方式观察数据,以改善用户对推理决策过程的认知.

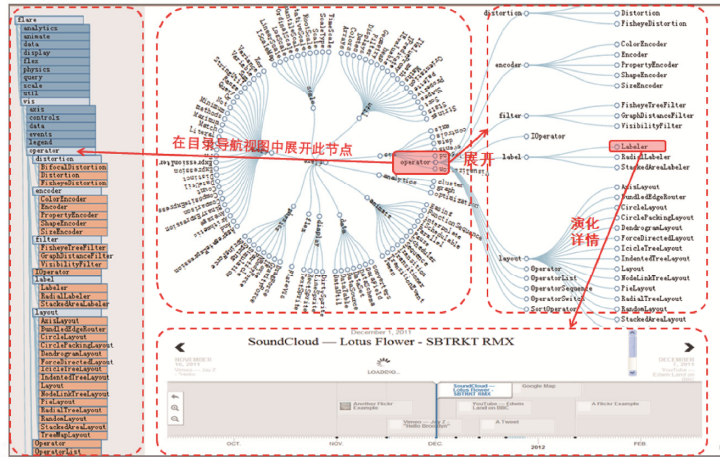


Fig.4 Multi view linkage

图4 多视图关联

针对分析决策过程中涉及各类复杂数据,采用多视图关联协调技术,使得用户在某一视图对可视元素进行相关操作时,其他视图做出实时响应,并对其可视元素进行调整,以使不同视图在整个分析过程中保持相同的上下文语境.例如,当用户在全局视图中确定数据关注点后,局部视图做出相应的关联反馈.

同时,对于分析推理的全过程,利用决策树实现决策推理,并将相应的分析推理全过程通过可视视图展示.在诊疗过程中,诊断决策的推理过程主要由推理、回溯、假设几个动作构成,医生针对当前的症状以及检查结果不断推理,并假设结果,以最终确定诊疗方案.在分析推理过程中不断的回溯历史诊疗信息.面向分析推理过程的可视视图由结点和边构成,其中结点代表活动,边表示活动的走向,用户通过视图交互不断推进分析,如图5所示.

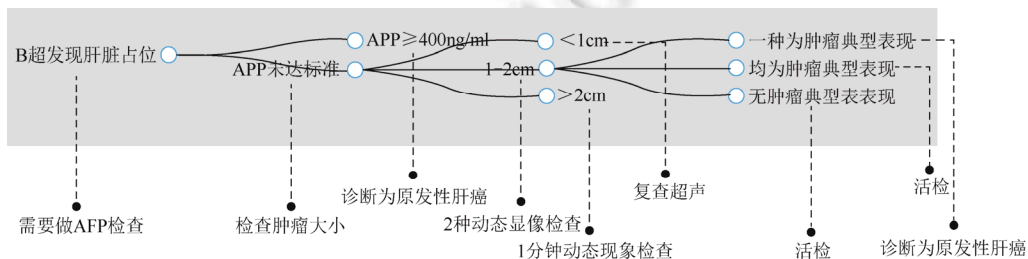


Fig.5 Visualization of the process on clinical analysis and decision-making

图5 临床分析与决策过程可视化

4 系统实例

本节在上述研究的基础上,通过某临床医生使用本文构建的临床诊疗可视分析决策系统,对病患临床诊疗数据进行分析 and 梳理的具体应用案例,详细阐述了系统以符合用户认知习惯的方式展示数据并提供自然的交互方式辅助分析者对海量、复杂的临床诊疗数据进行梳理分析,进而得出分析决策诊断结果的过程。

在实际诊疗过程中,诊断决策的推理过程主要由推理、回溯、假设这几个动作构成,医生针对当前的症状以及检查结果,根据系统所推荐的治疗或者检查方案,不断地进行推理,并假设结果,以最终确定诊疗方案。根据病患的个性化需求,医生可以定制不同的可视化形态,以满足用户可视化诊疗的需求。

如图 6 所示,系统通过雷达图展示病患各项指标与标准值的对比情况,此外还有可定制的柱状图、线图、树状图等 22 种视图可用来展示各类临床诊疗信息。

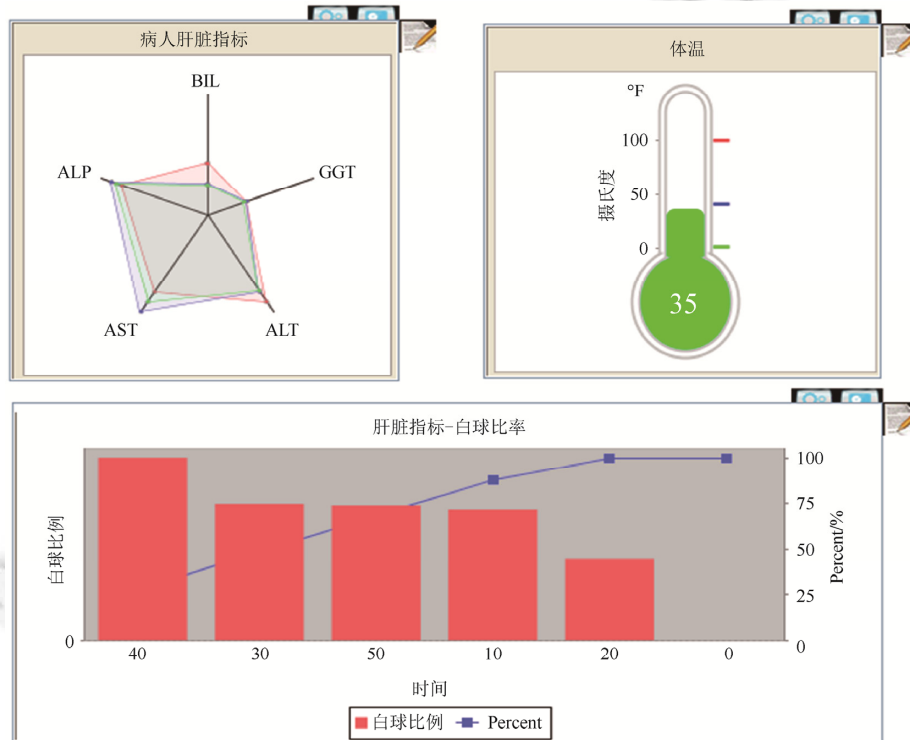


Fig.6 Visualization of examination index in medical records

图 6 病例检查指标的可视化

在患者进入诊室后,医生通过诊疗决策支持系统首先向其询问主述,并在系统中记录患者所述症状。在问诊过程中,医生需要随时书写病历或与病人交流,考虑到系统的应用场景,系统采用了基于笔和语音的多通道交互手段,同时支持鼠标键盘、手写输入以及语音输入这 3 种交互方式,充分将用户的手口调动起来,实现自然操作。

症状录入完以后,系统根据历史信息向医生推荐诊断方案。医生可以采纳系统推荐的方案,也可以通过临床信息确定新的诊疗方案。在反复的问诊过程中,医生掌握的病患信息越来越充分,系统可以据此进行推理,为用户进一步推荐应该进行的检查或诊断。这种基于规则的临床诊断推理机制不仅能够帮助医生减少犯错误,节省时间和精力,而且便于给患者讲解,增加患者对其诊断方案的信任。

进一步来说,当医务人员面临疑难问题,单一凭借经验知识难以解决诊疗问题时,可通过变换全局视图角度,从海量临床诊疗信息中及时获取有价值的目标信息。如图 7 所示,以疾病类型为分类依据的诊疗信息全局视图展示了某类科室下各种不同疾病的临床诊疗信息,医生可借助该视图,通过查询、过滤、对比等交互手段实现

对多个相似病案的比较与分析,辅助临床决策活动.

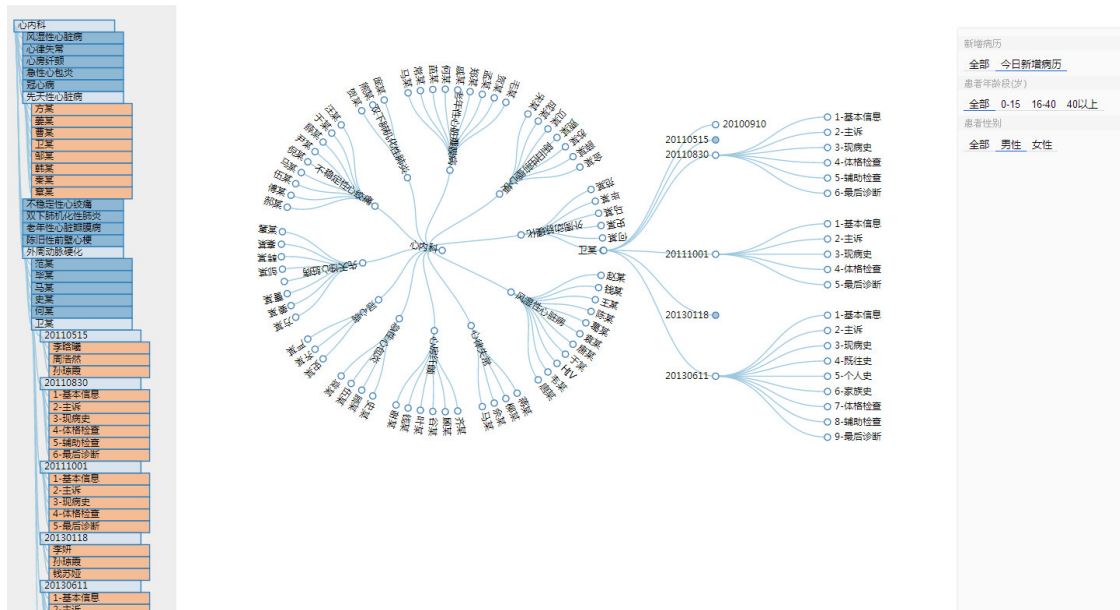


Fig.7 Global view of diagnosis information clustered on the basis of disease patterns

图7 以疾病类型为分类依据的诊疗信息全局视图

5 结论与展望

本文分析了当前临床诊疗服务中存在的问题,研究了临床诊疗环境下人机协同认知特性及符合用户认知特性的海量医疗信息的可视呈现和交互方式,设计与实现了一种面向临床决策的可视化诊疗服务框架.框架围绕人机协同过程中的两个基本要素——信息与交互,通过全局概览、细节勘察、数据演化等多种视图呈现海量信息及其复杂关联关系以及临床诊疗的分析全过程;调研分析了诊疗过程中的交互任务,建立了面向诊疗过程的用户交互任务集,用于满足个性化需求的临床诊疗信息服务模式,指导此类应用系统的设计与开发.

在下一步的工作中,我们将根据医学知识来源的多样性,考虑更复杂的医学文献知识的获取.在诊疗服务框架方面,下一步工作将放松对接口使用的限定和表示方式,研究可视化医学知识服务,完善面向诊疗全过程的医学诊断决策支持服务.

References:

- [1] Trafton J, Martins S, Michel M, Wang D, Tu S, Clark D, Elliott J, Vucic B, Balt S, Clark M, Sintek C, Rosenberg J, Daniels D, Goldstein M. Designing an automated Clinical decision Support system to match clinical practice guidelines for opioid therapy for chronic pain. *Implementation Science*, 2010,5(1):No.26.
- [2] Thomas JJ, Cook KA. *Illuminating the Path: Research and Development Agenda for Visual Analytics*. IEEE-Press, 2005.
- [3] Bui A, Taira RK, Churchill B, Kangaroo H. Integrated visualization of problem centric urologic patient records. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2002,980:267-277.
- [4] Bui AAT, Aberle DR, Kangaroo H. TimeLine: Visualizing integrated patient records. *IEEE Trans. on Information Technology in Biomedicine*, 2007,11(4):462-473.
- [5] Zhou GM, Fu XL. Distributed cognition: A new cognition perspective. *Advances in Psychological Science*, 2002,10(2):147-153 (in Chinese with English abstract).
- [6] Morville P. *Ambient Findability: What We Find Changes Who We Become*. O'Reilly Media, Inc., 2005.

- [7] Teng DX, Yang HY, Ma CX, Wang HA. VDQAM: A toolkit for database quality evaluation based on visual morphology. In: Proc. of the 2012 IEEE Conf. on Visual Analytics Science and Technology (VAST). 2012. 245–246.
- [8] Amato G, Mainetto G, Savino P. An approach to a content-based retrieval of multimedia data. *Multimedia Tools and Applications*, 1998,7:9–36.
- [9] Pakhomov SV, Buntrock J, Chute CG. Identification of patients with congestive heart failure using a binary classifier: A case study. In: Proc. of the ACL 2003 Workshop on Natural Language Processing in Biomedicine (BioMed 2003), Vol.13. Association for Computational Linguistics, 2003. 89–96.
- [10] Marsh E, Friedman C. Transporting the linguistic string project system from a medical to a navy domain. *ACM Trans. on Office Information Systems*, 1985,3(2):121–140.
- [11] Shneiderman B. The eyes have it: A task by data type taxonomy for information visualizations. In: Proc. of the IEEE Workshop Visual Languages. Los Alamitos: IEEE Computer Science Press, 1996. 336–343.

附中文参考文献:

- [5] 周国梅,傅小兰.分布式认知——一种新的认知观点. *心理科学进展*,2002,10(2):147–153.



赵睿(1992—),男,云南红河人,硕士生,主要研究领域为人机交互,信息可视化.



马翠霞(1975—),女,博士,研究员,博士生导师,CCF 高级会员,主要研究领域为人机交互,可视分析,媒体大数据.



朱卫国(1976—),男,博士,副主任医师,主要研究领域为临床信息学,信息管理,临床决策支持,数据利用.



滕东兴(1973—),男,博士,研究员,博士生导师,CCF 高级会员,主要研究领域为信息可视化,数据管理.