

一种灵活的基于临床指南的临床决策支持系统

刘光熠¹ 赵迎宾¹ Johan Ellenius² Carolina Wannheden²

¹(复旦大学计算机科学技术学院 上海 200433)

²(卡罗林斯卡医学院医学信息学系 斯德哥尔摩 17177)

摘 要 基于临床指南的临床决策支持系统的价值已得到了普遍认同。提出一种基于拆分/组合策略的临床决策支持方法,给出了一种灵活临床决策支持系统开发框架,并结合一个具体的实例说明如何应用该框架进行开发。应用表明,该方法很好地满足了不同医生对决策支持的需求,有效地加强了系统的灵活性,减低了维护的成本。

关键词 临床决策支持系统 临床指南 适应变化 工作流 UI 自动生成

A FLEXIBLE CLINICAL DECISION SUPPORT SYSTEM BASED ON CLINICAL GUIDELINES

Liu Guangyi¹ Zhao Yingbin¹ Johan Ellenius² Carolina Wannheden²

¹(School of Computer Science, Fudan University, Shanghai 200433, China)

²(Department of LIME, Karolinska Institutet, Stockholm 17177, Sweden)

Abstract The value of clinical decision support systems based on clinical guidelines has been widely acknowledged. This paper proposes a clinical decision support method based on the split-combine strategy and suggests a flexible clinical decision support system development framework. What's more, a case study explaining how to utilise the framework in the development is conducted which proves that the new method satisfies different requirements from different clinicians, strengthens system flexibility and reduces maintenance cost.

Keywords Clinical decision support system Clinical guideline Adaptive Workflow UI automatic generation

0 引 言

医生的决策关系到病人的安危,因此,丰富的医学知识与临床经验显得尤为重要。除自身的知识与经验的积累外,借助临床决策支持系统 CDSS(Clinical Decision Support System) 则是一种行之有效的方法。

临床决策支持系统是临床信息系统中专门辅助医疗工作的系统,它的应用可以有效解决临床医生知识的局限性问题、减少人为疏忽、相对降低医疗费用^[1]。

临床指南的重要性已经得到广泛认可,它的科学性和规范性为临床决策支持系统提供了可靠的知识来源,为医疗质量提供了保障^[2]。尽管基于临床指南的临床决策支持系统的价值得到普遍认同,但无论国内外,在临床实际中投入广泛长期应用的系统并不多,归纳起来主要有两方面的原因^[2]:

(1) 这些系统无法满足不同医生对决策支持的不同需求

由于医生自身知识和经验的积累不同,他们对决策支持的需求也不一样。一般来说,初级医生需要更活跃的决策支持,而经验丰富的医生则希望得到选择性的支持,更自主地进行临床决策。现有的系统大都过于强调机器决策,这不利于 CDSS 的推广,也是不科学的,因为决策本身应该由人来完成。

(2) 无法适应医疗指南的快速变化

我们正处在一个知识爆炸的时代,循证医学的证据层出不穷,临床指南在不断更新。一个基于临床指南的临床决策支持

系统,应该支持并适应临床指南的快速变化。而这一点,现有的系统却大都没有做到。

针对第一个问题,本文在分析了医生的决策过程和临床指南的结构之后,提出了一种基于拆分/组合策略的临床决策支持方法,将一个完整的临床指南拆分成多个“原子临床指南”,同时将整个决策过程细化,让医生更活跃地参与临床决策。

针对第二个问题,本文提出了一种灵活的基于 MVC 模式的临床决策支持系统开发框架。首先由医生根据现有的临床知识,整理出关于某种疾病诊断的临床指南,并通过形式化的方式表示出来。然后再由建模人员,根据形式化的临床指南,在笔者提供的建模工具上进行建模。系统的 UI 引擎则会根据模型,自动产生相应的用户界面。再通过工作流引擎实现工作流与用户界面的交互。而当临床指南发生更新时,也只需要建模人员对模型进行修改,就能使系统快速适应这种变化。

1 实 例

肺结核(TB)是 HIV/AIDS 患者最常见的机会性感染。同时,感染 TB 将导致免疫细胞对 HIV 易感,这将使得 HIV 更易进入免疫细胞并更容易复制。据统计,与未感染 HIV 的人相比,AIDS 患者患活动性肺结核危险性升高 170 倍,HIV 感染者患活动性肺结核危险性高 113 倍。

收稿日期:2010-03-28。刘光熠,硕士生,主研领域:医学信息学。

本文以 HIV/TB 双重感染防治为例说明如何应用该框架进行开发。考虑到 HIV/TB 双重感染的治疗方案的复杂性,而本文篇幅有限,仅参照美国卫生与人类服务部(DHHS)2008 年出台的相应治疗指南^[3]给出简化的 HIV/TB 治疗临床指南进行肾脏检测:

a) 如果检测结果正常

i) 进行 HIV 治疗。

ii) 评估居住地风险,并判定 HIV 治疗药物中是否含 PI。

A) 如果风险高,而且 HIV 治疗药物中含 PI,则推荐使用“方案 1”治疗 TB: INH/RFB/PZ/EMB(2 个月)、INH/RFB(4 个月)。

B) 如果风险高,而且 HIV 治疗药物中含 PI,则推荐使用“方案 2”治疗 TB: INH/RIF/PZ/EMB(2 个月)、INH/RIF(4 个月)。

C) 如果风险低,而且 HIV 治疗药物中含 PI,则推荐使用“方案 3”治疗 TB: INH/RFB/PZ(2 个月)、INH/RFB(4 个月)。

D) 如果风险低,而且 HIV 治疗药物中含 PI,则推荐使用“方案 4”治疗 TB: INH/RIF/PZ(2 个月)、INH/RIF(4 个月)。

b) 如果检测结果出现异常,则终止治疗

2 基于拆分/组合策略的临床决策支持方法

临床指南越来越多地被应用到临床决策支持系统中,这有助于改进医疗质量和减少成本。

在开发这种系统之前,我们首先需要将临床指南中包含的临床知识以形式化的方式表达出来。这就需要使用到 CIGs(形式化的临床指南)如 GLIF、PROforma 等。

考虑到易于使用和理解的目的^[4],本文将采用 PROforma^[5]作为临床指南的建模语言。

2.1 使用 PROforma 对临床指南建模

在 PROforma 中,指南应用由一组任务和数据项构成。它的任务模型分成四种类型:计划、决策、行动和询问,如图 1 所示。

① 计划 指南的基本构建块,并且可能包括任何类型任何数量的任务,可以包括其它计划。

② 决策 用于有选择出现的地方,例如是否治疗病人或实现进一步的调查研究。

③ 行动 典型的需要去作的临床过程(例如注射的管理)。

④ 询问 请求进一步的信息和数据,在指南处理之前的请求。

使用 PROforma 对 HIV/TB 的临床指南建模,结果如图 2 所示。

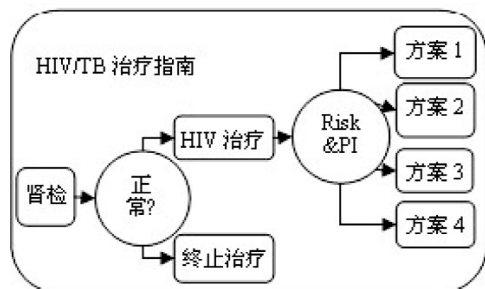


图 1 PROforma 的任务模型

图 2 使用 PROforma 对 HIV/TB 的临床指南建模

2.2 拆分临床指南

一个临床指南往往包含着多个决策。在现有的 CDSS 中,往往只给出了一个最终的推荐治疗方案,而没有让医生选择性地参与每一步的临床决策。

本文将一个完整的临床指南拆分成多个相互依赖的子指南,整个临床决策的过程被细化了,使得医生得以活跃地参与每一步临床决策。

临床指南拆分的原则是:每个拆分后的子指南只需要做一个决策。

以“HIV/TB 临床指南”为例,其拆分/组合后的结果如图 3 所示,其中“TB 临床指南”依赖于“HIV 临床指南”。即 TB 的治疗方案,依赖于医生在使用 HIV 临床指南时做出的决策。

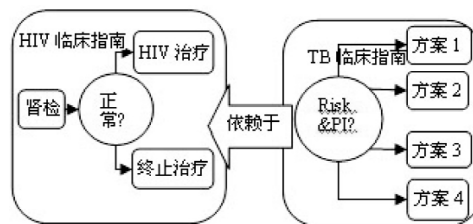


图 3 拆分 HIV/TB 治疗指南

3 基于临床指南的决策支持系统的开发框架

本文按照 MVC 的思想设计一个灵活的临床决策支持系统,其架构如图 4 所示。分层的体系结构可以避免系统部件的耦合,降低系统的复杂性,增强系统的可扩展性和可维护性。

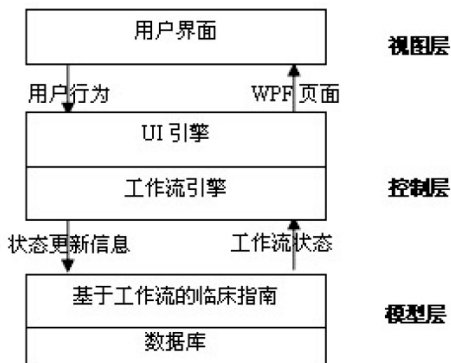


图 4 系统架构

下面是各层结构的详细描述:

(1) 模型层 负责存放整个系统涉及的业务数据和业务逻辑。本系统中,它由基于状态机工作流的临床指南和数据库组成。数据库中存放了所需要使用的数据,如某种治疗方案等。状态机工作流中存放了业务逻辑,即临床指南。

(2) 控制层 定义了应用程序的行为,负责对来自视图层的用户行为进行解释,并把这些要求映射成相应的行为,交给模型层给予实现。本系统中,用户行为可能是一些鼠标单击或是菜单选择操作,控制层包括 UI 引擎和工作流引擎。UI 引擎负责解析这些用户行为,并由工作流引擎根据解析的结果进行业务处理、更新工作流的状态,最后再由 UI 引擎根据工作流的状态自动生成 WPF 页面,返回给视图层。

(3) 视图层 它是提供给用户的操作界面。在本系统中,它是由“UI 引擎”根据模型层中工作流的状态自动产生的 WPF 页面。

4 技术难点与实现

考虑到对系统的持续支持,本系统采用微软 .NET 框架进行开发,其中:

- ① 模型层采用 Windows Workflow Foundation 对临床指南进行建模,并采用 Microsoft SQL Server 数据库存储具体信息。
- ② 控制层采用 C# 开发 UI 引擎和工作流引擎。
- ③ 视图层采用 Windows Presentation Foundation 开发用户界面。

控制层的实现较为复杂。它包括 UI 引擎和工作流引擎。UI 引擎负责解析用户行为,并由工作流引擎根据解析的结果进行业务处理、更新工作流的状态,最后再由 UI 引擎根据工作流的状态自动产生用户界面。本文将重点介绍 UI 引擎的实现。

4.1 UI 引擎的实现

UI 引擎的主要功能包括两个:一是根据工作流的状态自动生成用户界面;二是解析用户行为,如鼠标单击或是菜单选择操作等,并将解析结果交付给工作流引擎。

为了正确地自动生成用户界面,首先要知道用户界面应该由哪些元素构成。根据分析临床指南的结构,我们认为,对于一个临床指南来讲,它最需要展示在用户前面的元素包括:

- (1) 临床指南的名称;
- (2) 依赖(一个临床指南是否依赖于另一个临床指南);
- (3) 可选的治疗方案;
- (4) 推荐方案及推荐理由。

以 TB 临床指南为例,其用户界面可如图 5 所示。其中“√”表示推荐方案。展开每一个方案,可以看到选择此方案的依据。“?”表示“TB 治疗策略”依赖于“HIV 治疗策略”,而且医生尚未就“HIV 治疗策略”进行任何决策。点击问号,则焦点自动转移到被依赖指南“HIV 治疗策略”上。如果医生在“HIV 治疗策略”上作出决策,则这个问号自动消失。系统会立刻给出“TB 治疗策略”的推荐方案,并在此方案前面打“√”。

其中临床指南的名称及可选的治疗方案均可从数据库中读出。真正的难点是如何给出推荐方案和依赖。C# 的多线程技术和 .NET 的事件机制给出了很好的解答。

当工作流启动时,便会通过事件机制告知“UI 引擎”,哪些临床指南在此次治疗中需要使用到,这些临床指南之间的依赖关系。UI 引擎则以此结合数据库中的信息,在用户界面上自动显示。

以 HIV/TB 治疗为例,首先系统会告诉“UI 引擎”:临床指南“HIV 治疗策略”和“TB 治疗策略”将被使用到,并且启动相应的两个工作流。于是“UI 引擎”就会从数据库中取出关于这两个临床指南的具体治疗方案,并自动显示在界面上。

“TB 治疗策略”相应的工作流继续运行,会发现“TB 治疗策略”依赖于“HIV 治疗策略”。于是通过事件机制告诉“UI 引擎”,UI 引擎便会控制程序在“TB 治疗策略”前面显示“问号”。

“HIV 治疗策略”工作流继续运行,如果“肾脏检测”的结果为正常,则工作流立刻给出推荐。并通过事件机制通知“UI 引

擎”,“UI 引擎”据此在“进行 HIV 治疗”选项前显示“对勾”。

当用户看到“HIV 治疗策略”上的推荐作出决策时,“UI 引擎”则会解析这个决策,并把解析结果通知“工作流引擎”,后者负责把用户决策同步到工作流中,引起工作流状态的变更。

通过 C# 的多线程技术和 .NET 的事件机制,系统很好地完成了 UI 和工作流之间的互动。

由于用户界面需要实时响应用户操作,而后台可能存在较为耗时的运算,所以 UI 和后台的交互采用了非阻塞的异步通信机制,这给调试带来了一定的难度,但是确带来了更好的用户体验。

4.2 模型层的实现

模型层采用了 Windows Workflow Foundation 实现。

整个工作流模型分为两个层次,最顶层的工作流基于有限状态机,对于每个拆分后的临床指南,一般分为四个阶段:

- ① 处理用户数据 包括对潜在缺失数据的收集处理/格式转换等;
- ② 处理用户输入 例如用户在该指南依赖的指南中所做出的决策、需要用户手工输入的数据或一些选项;
- ③ 进行推荐 根据此前获得的用户信息和决策数据进行推荐,告诉医生推荐的治疗方案;
- ④ 终止。

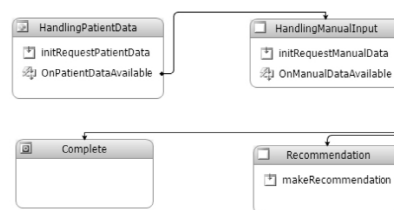


图 6

第二层工作流采用顺序工作流模型,将 PROforma 建立的决策树映射到 WWF 模型当中。

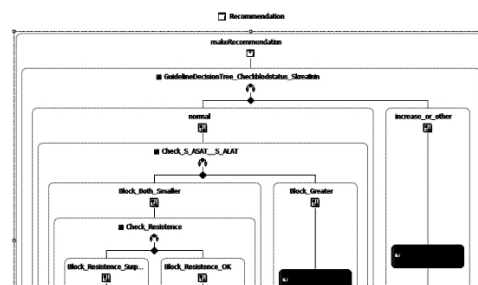


图 7

另外,本系统还扩展了 Windows Workflow Foundation 的活动集,使得建模的过程得到了简化,即使非计算机专业的工作人员也可以参与到建模中。活动集主要包括以下几种:

- ① 推荐 当条件具备时推荐治疗方案。
- ② 声明依赖关系 工作流声明依赖于另外个工作流。
- ③ 请求数据 这包括了一组活动,包括请求外部数据,请求手工数据等。

5 结语

本文针对现有基于临床指南的决策支持系统的不足,首先
(下转第 238 页)

的适应度函数值。分别判断(1)螺栓的最大承载力;(2)螺栓的最大剪应力;(3)螺栓的最大支承正应力;(4)钢板的临界弯曲应力;(5)成本是否均小于原始设计值,并接着判断每一设计值的 a, b 值,以排除不合理的设计。

4.2 求解

求解时设定参数如下:种群大小为40,字符串长度为30,繁殖代数数为30,交叉概率为0.6,突变概率为0.06。当选择多重目标函数,加权值为: $w_1 = 5.0, w_2 = 2.0, w_3 = 2.5, w_4 = 1.0, w_5 = 2.8$ 。图3为适应度函数(或适应度函数)轨迹图,可以看出平均值和最大值都有逐渐增大的趋势,图4为考虑多重目标函数时螺栓最优位置分布图。

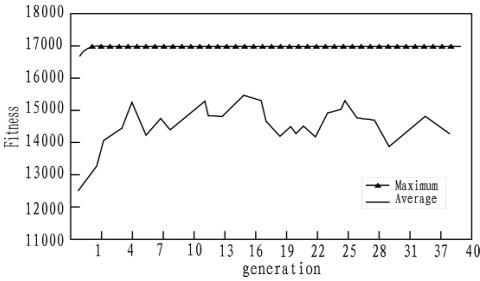


图3 适应度函数值轨迹图

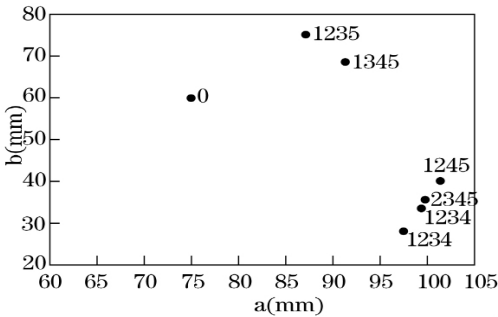


图4 螺栓最优位置分布

5 结果与讨论

经过遗传算法优化的部分结果统计参见表2和表3。

表2 最优设计尺寸一览表

目标函数	a(mm)	b(mm)	d(mm)
0	75.0000	60.0000	16.0000
1	94.4614	73.4319	15.875
2	99.4071	62.1863	15.875
5	84.4713	64.4950	15.875
12	95.5495	74.3256	15.875
15	86.3506	76.1130	15.875
35	98.3190	75.2193	15.875
345	90.4060	62.7821	15.875
2345	99.6049	32.1730	15.875
12345	99.6049	33.1412	15.875

表3 最优设计尺寸对应的最大目标函数

目标函数	F_{\max} (kN)	σ_{\max}	C_{bolt}
0	23.33	116.0356	18.37286
1	19.83402	100.2057	15.01714

目标函数	F_{\max} (kN)	σ_{\max}	C_{bolt}
2	20.05098	101.3018	15.01714
5	21.61554	109.2063	15.01714
12	19.66907	99.3723	15.01714
15	20.41762	103.1542	15.01714
35	19.35445	97.7828	15.01714
345	21.03611	106.2789	15.01714
2345	21.43252	108.2816	15.01714
12345	21.40316	108.1333	15.01714

以上算例成功地应用遗传算法进行螺栓连接钢构件的优化设计,可以看到:

(1) 遗传算法可以用于螺栓连接钢构件、螺栓位置及尺寸的优化设计;

(2) 考虑了五种目标函数,分别为①螺栓的最大承载力;②螺栓的最大剪应力;③螺栓的最大支承正应力;④钢板的临界弯曲应力;⑤成本;

(3) 经过优化设计后,比原设计减少所受支承应力5~20%左右;

(4) 考虑目标函数的各变量均衡性,建议螺栓尺寸及位置为 $a = 98.319, b = 75.219, d = 15.875$ 。

参考文献

[1] Holland J H. Adaptation in Natural and Artificial System [M]. The University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.
[2] 雷英杰, 张善文, 等. MATLAB 遗传算法工具箱及应用 [M]. 西安电子科技大学出版社, 2005.
[3] 玄光男, 程润伟. 遗传算法与工程优化 [M]. 清华大学出版社, 2004.
[4] GB50017 - 2003 中华人民共和国国家标准. 钢结构设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2003.
[5] 刑文训, 谢金星. 现代优化计算方法 [M]. 2 版. 清华大学出版社: 130 - 142.

(上接第 191 页)

提出了一种基于拆分/组合策略的临床决策支持方法,使得临床医生更加活跃地参与了临床决策;然后,提出了一种灵活的基于 MVC 框架的临床决策支持系统的开发方案,实现了用户界面的自动生成。在临床指南变更时,只需使用本系统提供的建模框架对模型层进行更新,不用去改动整个系统,从而使整个系统具有良好的可定制特点以及可扩展性和易维护性。

参考文献

[1] 何春黎. 临床决策支持系统: 用于提高临床工作和医疗质量 [J]. 美国医学会杂志: 中文版, 1999: 324 - 325.
[2] 杨艳. 基于临床指南的临床决策支持系统的设计与实现 [D]. 浙江: 浙江工业大学, 2009.
[3] Robin Wood, MB ChB. HIV/TB: WHEN IS IT SAFE TO START HAART? [J]. Southern African Journal of HIV Medicine 2008: 18 - 24.
[4] Mor Peleg, Samson Tu, Jonathan Bury, et al. Comparing Computer -interpretable Guideline Models: A Case-study Approach [J]. JAMIA, 2003, 10: 52 - 68.
[5] Fox J, Rahmzadeh A. Disseminating medical knowledge: the PROforma approach [J]. Artificial Intelligence in Medicine 1998, 14: 157 - 181.