

基于 Petri 网的临床路径评估与优化

田燕 马晓普 张新刚 张婷

(南阳师范学院计算机与信息技术学院 南阳 473061)

摘要 为了对临床路径进行定量评估和优化,利用分层赋时着色 Petri 网进行建模分析,并以某医院乳腺癌临床路径为例,根据患者到达的时间分布规律,通过设置调整相关参数,在 CPN Tools 3.4 平台上进行仿真测试,得到了各时段住院天数、费用、最短住院天数资源配置等数据,从而为临床路径的定制、筛选和优化提供了有效的参考与支持。

关键词 分层赋时着色 Petri 网,乳腺癌临床路径,住院天数,诊疗费用,评估与优化,资源配置

中图分类号 G434 **文献标识码** B

Evaluation and Optimization of Clinical Pathway Based on Petri Net

TIAN Yan MA Xiao-pu ZHANG Xin-gang ZHANG Ting

(Computer and Information Technology Academy, Nanyang Normal University, Nanyang 473061, China)

Abstract In order to quantitatively evaluate and optimize the clinical pathway, a model of clinical pathway based on Hierarchical Timed colored Petri Net was proposed. According to the patients' distribution law of arrival time, using the breast cancer clinical pathway of a hospital and testing on the CPN Tools 3.4 by setting and adjusting relevant parameters, some import data can be got such as hospitalization days, the medical expense, the shortest length of stay and allocation of resources of each period. These can provide an effective reference for the customization, screening and optimization of the clinical pathway.

Keywords Hierarchical timed colored petri net, Clinical pathway of breast cancer, Hospitalization days, Medical expense, Evaluation and optimization, Allocation of resources

1 引言

临床路径作为一种新的医疗服务模式,提出针对特定的诊断、手术或病症,在最佳时间采取最佳流程进行治疗,从而规范诊疗行为,提高临床诊疗效果^[1]。其中, Syed SRAB ID I 通过建立语义 Web 模型,实现了操作知识和异构领域知识的合成,提出以患者个体为中心的诊疗理念,以面向服务架构的方式进行诊疗路径建模,深入研究了相关技术并通过实践进行了验证^[2];针对临床诊疗路径及实际诊疗中产生的大量数据, Dwivedi 等提出设计和开发工作流管理系统来对这些数据进行自动化处理,获取了较高的管理效率^[3];针对门诊资源中出现的冲突、拥塞、闲置、利用率不平衡等突出问题, Sendi 等利用着色 Petri 网进行建模分析并改进,实现了门诊资源的合理配置和优化^[4]。

国内学者徐大华提出通过建立和开发临床路径诊治信息系统来管理临床路径,并利用 Petri 网对系统进行建模、优化和可靠性论证,据此开发的系统运行正常,提高了临床路径的管理效率^[5];针对复杂病种临床路径,赵艳丽、江志斌以骨肉瘤为例借助 Petri 网进行建模,实现了对诊疗状态、信息流转及诊疗活动间关系的可视化监控,并基于仿真结果给出了资

源配置建议,以优化临床路径实施效果^[6]。

以上研究解决了临床路径建模和优化的基本问题,但仍存在以下不足:(1)对临床路径的分析主要局限于验证诊疗进程是否流转准确,文献[1-6]没有对住院时间、诊疗费用进行定量分析,不能为临床路径“缩短住院时间、降低医疗费用”的主旨提供可靠的数据和支持;(2)不同地域、不同级别医院的病人群体及到达规律均有所差异,文献[4-6]缺乏对以上因素的考虑,因此其所建模型具有一定的局限性;(3)对资源配置的研究需要进一步深入,由于在建模时缺乏对住院时间、费用性能的考虑,在后期对资源配置优化时,仅能给出一些宏观的优化策略,如文献[4-6]均无法得到基于住院时间和诊疗费用的定量的最优资源配置。

针对以上不足,本文对经典的分层赋时着色 Petri 网的建模方法进行改进,在对临床路径建模时,修改和新增部分与时间相关的变量和函数,增设费用相关变量及函数,对临床路径的住院时间和诊疗费用进行定量分析,并通过调整相关变量和参数进行仿真分析,求解定量的最优资源配置,依据仿真结果给出符合医院实际的优化策略。

2 HTCPN 定义

分层赋时着色 Petri 网(Hierarchical Timed Colored Petri

到稿日期:2012-12-21 返修日期:2013-03-17 本文受河南省基础与前沿技术研究项目(122300410315,122300410306,112300410235)资助。

田燕(1979-),女,硕士,讲师,主要研究方向为工作流建模、软件工程, E-mail: ttianyan@126.com; 马晓普(1975-),男,博士,副教授,主要研究方向为分布式系统安全、图形图像处理; 张新刚(1979-),男,硕士,讲师,主要研究方向为计算机网络安全; 张婷(1985-),女,硕士,助教,主要研究方向为数据挖掘与工作流建模、软件工程。

Net, HTCPN)是对基本 Petri 网的扩充和拓展,是由多层 TCPN 组成的多元组。

定义 1 赋时着色 Petri 网(TCPN)是一个多元组 $TCPN = (P, T, A, \Sigma, N, C, G, E, I, R, r_0)^{[7-11]}$,其中:

- (1) P 是库所的有限集合;
- (2) T 是变迁的有限集合,满足 $P \cap T = \emptyset, P \cup T \neq \emptyset$;
- (3) A 是弧的有限集合, $A \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$;
- (4) Σ 是一个非空颜色类型集合;
- (5) N 是节点函数,其中 $N: A \rightarrow (P \times T \cup T \times P)$;
- (6) C 是颜色函数,其中 $C: P \rightarrow \Sigma$;
- (7) G 是门卫函数, $G: T \rightarrow expr$,且满足:
 $\forall t \in T: Type[G(t)] = Bool \wedge Type[Var(G(t))] \subseteq \Sigma$;
- (8) E 是弧表达式函数,其中 $E: A \rightarrow expr$,且满足:
 $\forall a \in A: Type[E(a)] = C(p)_{MS} \cap Type[Var(G(t))] \subseteq \Sigma$;
- (9) I 是初始化函数,其中: $I: P \rightarrow expr$,且满足: $\forall p \in P, Type[I(p)] = C(p)_{MS}$;
- (10) R 称为时间戳,表示时间的集合,代表库所的时延;
- (11) r_0 称为开始时间,是 R 中的元素。

定义 2 $HTCPN = (S, SN, SA, PN, PT, PA, FS, FT, PT)^{[12-15]}$,其中:

- (1) S 是页 (page) 的有限集合,每一个 $s \in S$ 都是一个 TCPN,且 $\forall s_1, s_2 \in S: s_1 \neq s_2 \Rightarrow (P_{s_1} \cup T_{s_1} \cup A_{s_1}) \cap (P_{s_2} \cup T_{s_2} \cup A_{s_2}) = \emptyset$;
- (2) $SN \subseteq T$ 是替代变迁节点的集合;
- (3) SA 是页分配函数,其中: $SA: SN \rightarrow S$;
- (4) $PN \subseteq P$ 是端口节点集合;
- (5) PT 是端口类型函数,其中: $PT: PN \rightarrow F, F = \{in, out, i/o, general\}$;
- (6) PA 是端口分配函数,从 SN 定义的插座节点和端口节点的二元关系中得到,其二元关系为: $\forall t \in SN: PA(t) \subseteq X(t) \times PN_{SA(t)}, \forall t \in SN, \forall (p_1, p_2) \in PA(t): [PT(p_2) \neq general \Rightarrow ST(p_1, t) = PT(p_2)], \forall t \in SN, \forall (p_1, p_2) \in PA(t): [C(p_1) = C(p_2) \wedge I(p_1) = I(p_2)]$;
- (7) FS 是有限联合集,且 $\forall fs \in FS, \forall p_1, p_2 \in fs: [C(p_1) = C(p_2) \wedge I(p_1) = I(p_2)]$;
- (8) FT 是联合类函数,是从联合集定义到 $[global, page, instance]$ 的函数,页联合节点和局部节点集合同属于一个页:
 $\forall fs \in FS: [FT(fs) \neq global \Rightarrow \exists s \in S: fs \subseteq P_s]$;
- (9) PP 是定义主页的多重集合。

3 乳腺癌临床路径

河南省南阳市某医院依据卫生部的临床路径,结合本院情况修改制定了部分病种的临床路径,下面是可手术乳腺癌临床路径的简要流程,如图 1 所示。

- (1) 患者入院;
- (2) 确诊为乳腺癌的患者,临床科室对其进行评估,判断患者可否进入路径,对于入路径者,根据肿瘤分期及患者意愿

确定手术方案,不能进入路径者,实施常规治疗后直接进入 (7);

- (3) 术前检查,时间限制在 5 天以内;
- (4) 医患沟通后,进行手术预约,主要预约手术时间、手术医生、麻醉师、手术间等;
- (5) 实施手术,对患者实施麻醉、手术、活体组织病理检查等,手术日限制在患者入院后的 6 天以内;
- (6) 术后恢复,时间限定在 12 天以内;
- (7) 符合出院标准的患者办理出院;
- (8) 对未能进入路径以及发生变异退出路径的患者进行统计分析,总结原因和规律;
- (9) 通过对患者住院费用、时间、变异率等数据进行分析,来评估临床路径。

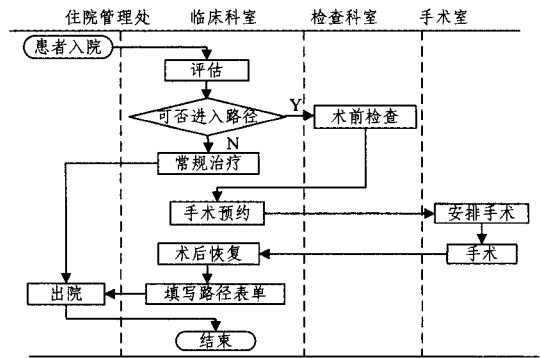


图 1 可手术乳腺癌临床路径流程图

根据以上流程及该院各项收费标准,该临床路径住院时间约为 18 天,费用约 8600 元。

由图 1 可以看出,该临床路径的执行涉及到住院处、临床科室、检查科室及手术室等多个科室的多名医护人员。实际调研发现,该医院 87.6% 的患者来自农村,住院天数和住院费用成为影响这一病人群体治疗的首要因素,同时,春播、秋收和大型节假日成为影响住院人数的三大重要因素,因此,不同时期的住院时间和费用存在一定差距,本文将一年分成 4 个时段,分别研究不同时段该临床路径的时间、费用性能,并通过调整各个参数和变量,来获得不同时段的最优资源配置。

4 乳腺癌临床路径建模

4.1 颜色集

为对乳腺癌临床路径进行建模,需对定义 1 中的 Σ 进行细化,定义符合临床路径的多个颜色集,下面是几个主要的颜色集定义:

(1) 时间颜色集

$colset\ clock = product\ day * hour * minute$

记录临床路径中变迁相关时间的天、小时、分钟。

(2) 患者身体状况颜色集

$colset\ condition = product\ T * N * M * health$

患者身体状况包括肿瘤 TNM 分期-医生对患者做出的身体健康状况评估,这几项数据是决定手术方式的重要因素。

(3) 患者颜色集

$colset\ pat = product\ pid * pname * con * pn * lt * tt * lc * tc$

记录患者编号、姓名、身体状况、所处阶段、末次诊疗时间、共计路径时间等。

(4) 医护人员颜色集

colset ms=product msid * mstype * msdep * lwr * Ts * Twt

记录医护人员的工号、类别、所在科室、末次工作时间、最近休息日等。

然后基于以上信息建立 list 类型的胸外科医生、胸外科主刀医生、胸外科护士、麻醉师、麻醉科护士、药房人员、检查科人员等多个队列。

(5) 诊疗方案颜色集

colset scheme=product sid * stype * sdet

主要记录患者某阶段采用的诊疗方案、编号、所属类别及具体描述。

(6) 诊疗费用颜色集

colset cos=product cexa * cw * cr * co

主要记录患者诊疗过程中发生的费用,包括检验与检查费、西药费、治疗费、其它费用等,以便后期进行统计。

其它还有病床颜色集、手术台颜色集、医嘱颜色集等。

4.2 顶层 Petri 网

根据乳腺癌临床路径流程和第 4.1 节定义的颜色集,得到乳腺癌临床路径顶层 Petri 网,如图 2 所示。

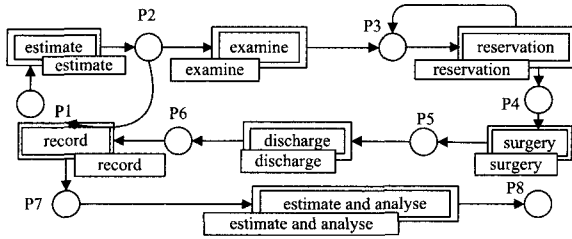


图 2 可手术乳腺癌临床路径顶层 Petri 网

图 2 中各个变迁含义如下: estimate 表示评估新入院患者可否进入路径, examine 表示术前检查, reservation 表示预约手术, surgery 表示实施手术, discharge 表示办理出院, record 表示未进入路径的患者及变异情况的统计, estimate and analyse 表示评估临床路径,这几个变迁均为非基本变迁,需要进一步展开。

4.3 surgery 变迁展开后的 Petri 子网

变迁 surgery 展开后的 Petri 子网如图 3 所示。

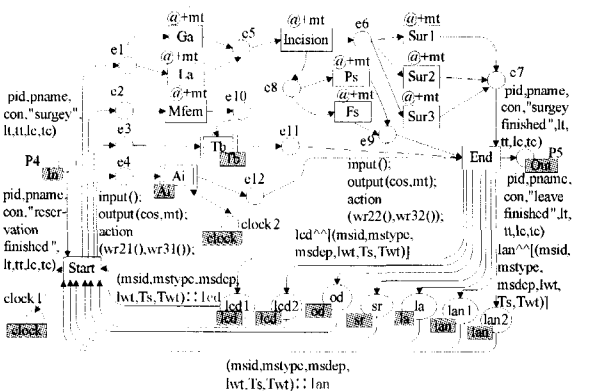


图 3 乳腺癌手术 Petri 子网

4.3.1 主要库所及意义

图 3 中主要库所涉及的意义如表 1 所列。

表 1 手术 Petri 子网主要库所的含义

库所	含义
P4	进入手术室
clock1, clock2	仿真时间
lcd1, lcd2	胸外科医生
Od	胸外科手术医生
Sr	手术室
La	麻醉师
lan1, lan2	手术室护士

(1) P4(in)、P5(out)为插座节点,分别与顶层 P4、P5 颜色集相同,代表同一状态。

(2) clock1-clock2 均打上了“clock”标记,表示为融合库所,同非基本变迁一样需要进一步展开,在此主要为了统一模型中的时间。

(3) 实施手术需 3 名胸外科医生(1 名主刀医生,2 名助理医生)以及 1 间手术室,这几个库所也打上了不同标记,表示为不同的融合库所,展开后是对各类资源调配情况的统计。

4.3.2 主要变迁及意义

图 3 中主要变迁及意义如表 2 所列。

表 2 手术 Petri 子网主要变迁的含义

变迁	含义	所需资源
Ga	全身麻醉	la(1), lan(1)
La	局部麻醉	lcd(1), lan(1)
Incision	开始手术	od(1), lan(2)
Ps	做石蜡切片病理	lcd(1), lan(1), idp(1)
Fs	做快速冰冻切片病理	lcd(1), lan(1), idp(1)
Sur1	活检+改良根治术	lcd(2), od(1), lan(2)
Sur2	保乳手术	lcd(2), od(1), lan(2)
Sur3	其他术式	Lcd(2), od(1), lan(2)
Mfem	全身功能监护	la(1)
Tb	输血	lcd(1), lcn(1), lan(1), idp(1)
Ai	输液	lcd(1), lcn(1), lan(1), lcp(1), idp(1)
End	整理手术室,结束手术	la(1), lan(2)

以变迁 Sart 和 End 为例进行详细说明。

(1) Start 变迁

① Start 的输入弧表达式为 (pid, pname, con, “reservation finished”, lt, tt, lc, tc), 表达意义为编号 pid 的患者, 姓名为 pname, 身体状况为 con, 目前所处临床路径阶段为“预约手术成功”, 末次诊疗用时 lt 分钟, 截止目前共计用时 tt 分钟, 末次诊疗花费明细为 lc(cexa, cw, cr, co), 截止目前共计花费明细为 tc(cexa, cw, cr, co)。

② 变迁上的 @+mt 为时间戳, 表示该变迁时延为 mt 分钟。

③ Start 的输出弧表达式为 (pid, pname, con, “urgery”, lt, tt, lc, tc), 表示患者进入手术状态。

④ Start 的代码段为

```
input();
output(cos, mt);
action
(wr21(), wr31());
(lcd^(msid, mstype, msdep, lwt, Ts, Twt)]
lan^(lan1, lan2);
```

表示输出了两个重要数据, 其中 cos 表示该变迁产生的费用明细, mt 表示该变迁的时延, 分别通过触发函数 wr21() 和 wr31() 产生。其中变迁 End 的代码段含义与 Start 代码段类似。

⑤触发 Start 变迁需申请 3 名胸外科医生、1 名麻醉医师、2 名手术室护士以及 1 间手术室等多个资源。其中, (msid, mstype, msdep, lwt, Ts, Twt) 表示胸外科医生颜色集, 系统根据既定规则按照优先级高低产生一个医生队列, (msid, mstype, msdep, lwt, Ts, Twt)::lcd 表示选择处于队列首位的医生参与相关诊疗活动。

(2)End 变迁

①End 变迁输入弧表达式为 (pid, pname, con, "surgey-on finished", lt, tt, lc, tc), 表示当前患者手术结束, 医护人员整理手术室, 结束手术。

②触发 End 变迁将释放变迁 Start 申请到的 6 名医护人员和 1 间手术间。其中, lcd⁶[(msid, mstype, msdep, lwt, Ts, Twt)] 表示将释放的胸外科医生重新加入到医生队列中, 等待下次调用。

③End 的输出弧表达式为 (pid, pname, con, "leave finished", lt, tt, lc, tc), 表示患者离开手术间, 即将进入下一步诊疗路径。

5 临床路径评估与优化

5.1 临床路径 Petri 网结构测试

通过在 CPN Tools 3. 4. 0 上建模仿真, 并进行语法检查、可达测试, 验证了所建立的乳腺癌临床路径 Petri 网不存在死锁, 满足有界性, 语法正确, 结构合理, 符合实际临床流程。

5.2 临床路径时间和花费测试及分析

目前, 该院胸外科共有 5 个小组, 其中乳腺癌外科小组医生 6 名(含主刀医生 4 名), 护士 12 名, 病床 40 张。全院共有手术室 1 个, 手术间 30 间, 麻醉师 42 名, 手术护士 81 名。将仿真数据与该科室 3 年来可手术乳腺癌患者的统计情况进行对比, 如表 3 所列。

表 3 实际统计与临床路径仿真对比

	手术量 (台/天)	时间(天)		西药费(元)		总费用(元)	
		实际	仿真	实际	仿真	实际	仿真
春节及大型节假日	0.5	21.24	20.09	4233.8	3852.1	9823.6	9332.7
农忙时段	1.5	19.01	18.36	4668.3	3541.1	9113.7	8847.1
节后及农忙后	3.8	21.39	19.63	4275.8	3790.1	9847.1	9237.5
其余时段	2.6	20.08	18.71	4496.2	3626.1	9405.5	8933.7

根据表 3, 可以得出以下结论:

(1) 整个临床路径天数和诊疗费用均低于同时段患者实际住院天数和实际费用的平均值, 说明该临床路径在一定程度上改善了现有的诊疗流程。

(2) 仿真结果中住院天数高于预期天数 0.29~2.12 天, 费用也高于预期值 0~736 元不等, 这是因为无特殊情况, 该医院双休日不安排手术, 导致住院天数和费用增加。

(3) 各时段住院天数关系: 农忙时段 < 其余时段 < 节后及农忙后 < 春节及大型节假日。

这是因为相对其它病种, 肿瘤患者的病情比较稳定, 大部分患者不愿意在春节及大型节假日住院或手术, 所以科室这个时段安排的值班医生最少, 该时段必须住院的患者在申请手术时受到影响, 住院天数变长。

农忙时, 大部分患者回家春播或秋收, 医院正常值班, 该时段资源充足, 住院天数最短。

节后和农忙后患者相对集中, 住院天数略长。

(4) 住院天数越多, 总费用越多, 增加的费用主要由药费、床位费、护理费产生, 药费比基本维持在 40%~42% 之间, 低

于实际统计数据, 说明该临床路径用药更加合理。

5.3 最优资源配置测试

根据以上测试可以看出, 该临床路径流程准确、用药比较合理, 主要改进的关键点是如何缩短住院天数, 从而降低诊疗费用。为增强后期可操作性, 仅对影响手术进程的关键资源进行调整, 得到各阶段最短住院天数的资源配置情况, 具体如表 4 所列。

表 4 各时段最短住院天数资源配置仿真

	lcd	Od	lcn	Bed	天数
变化区间	[6,10]	[4,8]	[12,20]	[40,60]	
初值设定	6	4	12	40	
增量	1	1	2	5	
大型节假日	6	4	12	40	18.01
农忙时	6	4	12	40	18.06
节后、农忙后	8	6	16	60	18.77
其余时段	7	5	14	55	18.56

5.4 流程优化建议及措施

该医院是一家地市级医院, 同时又是一所高等医学院校的附属医院, 结合仿真结果给出以下建议: (1) 遇到大型节日包括双休日, 科室提前统计需要实施手术的患者人数, 安排值班人员, 以确保这些时段手术能够顺利进行; (2) 患者比较集中的时段, 选派部分学生参与临床诊疗及护理工作, 增加医护人员的有效工作时间, 并酌情增加手术量; (3) 家庭成员较多的患者, 在病情允许的情况下, 建议其选择患者较少时段实施手术; (4) 参考表 4 的相关数据, 适时引进一定数量的医护人员, 增加一定数量的病床。

结束语 临床路径涉及到多个科室多个医护人员, 注重诊疗过程中各科室间的协同配合及时间性, 流程复杂, 分层赋时着色 Petri 网非常适合对临床路径进行建模分析。本文以某医院乳腺癌临床路径为例, 借助 CPN Tools 工具进行仿真与测试, 仿真结果验证了模型的结构合理性, 同时得到了实例所需的住院天数、诊疗费用、最优资源配置等相关数据, 并结合医院实际提出了成本低、易于实施的建议, 在临床路径的定制、筛选和优化中具有较强的应用价值。

参考文献

- [1] Bragato L, Jacobs K. Care pathways: The road to better health services [J]. Journal of Health Organization and Management, 2003, 17(3): 164-180
- [2] Syed S R, Abidi H C. Adaptable Personalized Care Planning via a Semantic Web Framework[C]//Proc of the 20th International Congress of the European Federation for Medical Informatics (MIE 2006). Maastricht: IOP Press, 2006
- [3] Dwivedi A, Bali R K, James A E, et al. Workflow management systems: The healthcare Technology of the future[C]//Proc of the 23rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Press, 2001: 3887-3890
- [4] Sendi P, Maiwenn J A, Battagay M. Optimising the performance of an outpatient setting[J]. Swiss Medical Weekly, 2004(134): 44-49
- [5] 徐大华. 基于 Petri 网的临床路径诊疗系统仿真[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2003, 30(6): 1102-1104
- [6] 赵艳丽, 江志斌, 李娜. 基于分层赋时着色 Petri 网的临床路径建

模[J]. 上海交通大学学报, 2010, 44(2): 252-258

[7] Ardissono L, Leva A D, Petrone G, et al. Adaptive Medical Workflow Management for a Context-Dependent Home Healthcare Assistance Service [J]. Electronic Notes in Theoretical Computer Science, 2006, 146(1): 59-68

[8] 杨年华, 虞慧群, 郭新顺. 基于广义随机着色 Petri 网的 Web 服务组合模型[J]. 计算机科学, 2012, 39(4): 142-144, 158

[9] Yang Nian-hua, Yu Hui-qun, Sun Hua, et al. Quantifying Software Security Based on Stochastic Petri nets [J]. Journal of Computational Information Systems, 2010, 6(9): 3049-3056

[10] 张方田, 王开义, 隋静, 等. 着色 Petri 网在科技计划项目管理系统

建模中的应用[J]. 计算机应用, 2009, 29(12): 396-398, 400

[11] 王红霞. 基于价格随机 Petri 网的服务协同建模与分析[J]. 计算机科学, 2011, 38(1): 166-169

[12] 吴哲辉. Petri 网导论[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006

[13] 付新华, 罗护, 肖明清. 基于赋时有色 Petri 网的测试系统资源优化方法[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(9): 1672-1678

[14] 李海凌, 史本山, 刘克剑. 基于 Petri 网的建设工程项目实施阶段工作流建模与仿真[J]. 计算机应用, 2011, 31(10): 2828-2831, 2868

[15] 陈春良, 王岩磊, 孙盛坤. HTPCN 在装备保障业务流程建模与优化中的应用[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(10): 2746-2749

(上接第 192 页)

典型宇航产品工艺知识库系统包括管理模块、策略制定模块、工艺设计实施模块、知识读取模块。其中管理模块可读写工艺经验知识库, 策略制定模块和工艺设计实施模块只能对知识库进行读操作, 对知识库进行读操作都通过知识读取模块实现, 如图 7 所示。

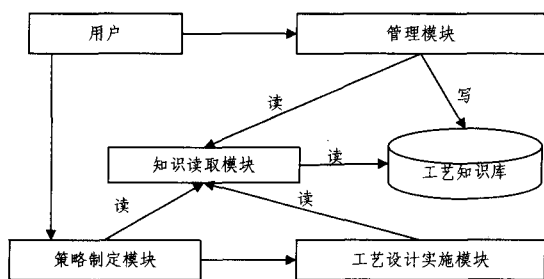


图 7 工艺经验知识库与各模块的关系

用户可通过管理模块实现对知识库的增、删、改操作及安全管理, 再通过策略制定模块调用经验知识, 从而制定设计策略, 实现对工艺设计实施模块的支撑。

知识读取模块实现对知识的读取及输出控制, 主要是进行知识的重新组织及格式转换。

当用户要查询某条知识时, 通过系统查询界面输入与该知识相关的一些信息, 知识读取模块会根据不同知识类别进行相应操作。

对于工艺方案知识, 知识读取模块会从这些信息中提炼出该条知识的“案例名称”, 并在经验知识案例基本信息表中查到与之相应的“模板编号”; 然后通过“模板编号”在模板字段表中查询到相应的“字段名称”及“字段编号”; 再通过“字段编号”在案例实例表中查询到对应的“字段值”; 最后把查询出的结果重新组织, 以查到的“字段名称”作为字段, 以对应的“字段值”作为相应记录的值, 建立新表输出。

对于工艺经验知识, 知识读取模块会从这些信息中提炼出该条知识的 VPO, 若能在知识库中检索到匹配的 VPO, 则输出对应的工艺方案知识; 若检索不到匹配的 VPO, 则对输入的 V、P 进行同义关系扩展后重新检索知识库, 若能检索到匹配的 VPO, 则输出对应的工艺方案知识, 否则对 P 进行上下位关系扩展, 看能否检索到相应的方案知识, 若能检索到, 输出, 否则输出“检索不到”。

基础资源库采用传统的表结构存储, 因此按传统的方法检索即可, 本文不做详细描述。

宇航产品工艺知识库系统操作界面和用户查找“碳钢”的

操作界面分别如图 8、图 9 所示。

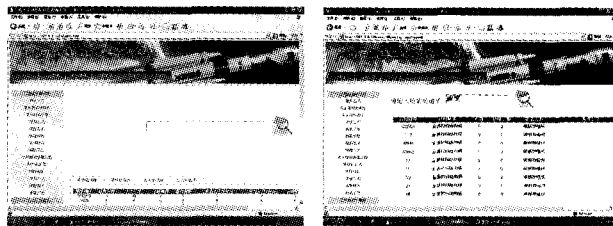


图 8 宇航产品工艺知识库系统操作界面 图 9 用户查找“碳钢”的操作界面

结束语 面向典型宇航产品工艺知识的表示模型能够有效满足面向典型宇航产品工艺知识特点的要求, 充分表示该领域的知识。基于该模型构建的面向典型宇航产品工艺知识库有利于工艺知识的利用、组织、维护和管理, 在典型宇航产品工艺知识库系统中应用取得了较好的效果, 有效提高了典型宇航产品构件的设计能力。

参考文献

[1] Koyama K, Hara N, Ohsugi I J. A study of knowledge database for 'Kana' strings self-study system on navigation[J]. International Journal of Advanced Intelligence Paradigms, 2010, 2: 49-63

[2] Ken Li-da. Editing The Encyclopedia Poplardia, a knowledge database for children[J]. Journal of Information Processing and Management, 2011, 54: 243-253

[3] Niu Fang-qu, Liu Yan-hua, Gao ya. Design of Knowledge Database of Agricultural Information Cooperative Service[J]. Agriculture Network Information, 2009(2): 112-117

[4] 金鑫. 面向 Web 信息资源的领域本体模型自动构建机制的研究[J]. 计算机科学, 2012, 39(6): 213-216

[5] 王进鹏, 张亚非, 苗壮. 基于本体的关系数据集成的查询处理[J]. 计算机科学, 2010, 37(12): 134-137

[6] 赵磊. 基于本体的坦克装甲车辆工艺知识库研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2008

[7] Guo Ya-fei, Hou Jun-jie, Shi Sheng-you. The Research of Process Experience Knowledgebase Oriented to Typical Aerospace Product[A]//2012 Second International Conference on Electric Information and Control Engineering[C]. Lushan, Hubei Institute of Automation, 2012: 2377-2312

[8] Xu Bing, Hu Ning. Design and application of traveling informatization backed database based on Web[A]// Information Technology and Artificial Intelligence Conference of 6th IEEE Joint International[C]. 2012: 435-437