

基于产生式规则的网络故障智能诊断修复系统^①

高俊¹, 周维贵¹, 李朝阳¹, 汪成亮²

¹(西昌卫星发射中心, 西昌 615000)

²(重庆大学 计算机学院, 重庆 400044)

摘要: 计算机网络日益复杂, 网络故障带来的影响日趋严重, 这对网络故障的诊断提出了更高的要求, 需要向着自动化、智能化的方向发展. 本论文研究提出, 在专家与网络工程师的网络故障诊断及修复经验基础上, 归纳形成基于产生式规则的故障知识, 以规则推理机制来进行故障诊断, 并自动生成修复方案; 同时, 通过 SQL Server 数据库的发布订阅服务, 对故障知识进行共享机制设计, 实现全网同型号设备的网络故障自动免疫功能. 最终设计实现了一套网络故障智能诊断修复系统, 达到了在无人干预情况下智能完成网络故障诊断和自动修复的工作.

关键词: 产生式规则; 网络故障; 智能诊断; 免疫

Computer Network Fault Intelligent Diagnosis System Based on Production Rule

GAO Jun¹, ZHOU Wei-Gui¹, LI Zhao-Yang¹, WANG Cheng-Liang²

¹(Xichang Satellite Launch Center, Xichang 615000, China)

²(Computer School Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: With the increase of network's complexity, the influence of network failure is more and more critical. Fault diagnosis performance should be improved too, especially on the automation and intelligence. According to the experts' experience to diagnose network fault, this paper designs a production rule for it. Afterwards, paper implements network fault diagnosis by rule reasoning, and generates repair scheme automatically. Furthermore, the system can share the fault knowledge among all the agents, so that the whole network can be immune from the new fault automatically. Finally, we design and realize a set of intelligent network fault diagnosis & repair system, which can finish network fault diagnosis & repair work automatically.

Key words: production rules; network fault; intelligent diagnosis; immunity

1 引言

计算机网络规模日益扩大, 随之出现的网络故障数量也在逐渐增多. 目前对网络故障的处理一般只局限于监测网络设备的工作状态, 在探测到网络故障时向网管中心发出告警, 然后由人去处理. 这存在两个方面的问题:

1) 自动化程度不高, 问题无法实时快速解决. 由于网络故障频发而工作人员数量有限, 在问题出现后常常抽不出人力去解决, 导致问题无法及时处理; 另外, 由于故障点离工作人员所在地有一定的距离, 工

作人员赶到现场时往往已是数小时之后, 故障无法及时排除, 可能影响工作的顺利进行.

2) 知识积累不够, 人员流动导致技术流失. 做好网络维护工作需要岗位人员长时间的积累, 在解决重大网络故障时, 经验往往发挥着巨大的作用, 而岗位人员的频繁流动导致知识的积累不足. 同时, 由于岗位人员之间往往不会主动交流, 知识的沉淀缺乏动力. 此外, 人的记忆也存在着各种不确定性, 在未来设备越来越先进, 故障种类也越来越繁多的网络维护工作中, 只靠人去积累知识的模式无法胜任.

^① 收稿时间:2013-08-08;收到修改稿时间:2013-09-06

因此,建立智能化、自动化的网络故障诊断修复系统是急切所需的,而目前市场上针对网络故障诊断的系统多为监测交互式的,在故障自动诊断和自动修复方面,还没有成熟的设备或软件.关于网络故障诊断的国内外研究局限于故障的分析诊断技术^[1,2]和专家系统的建立^[3,4],没有针对计算机网络的故障做到自动诊断和自动修复.论文在网络故障诊断技术中引入人工智能技术,基于产生式规则,提出了一套智能的网络故障诊断修复系统.该系统能够将网络中各个节点智能地管理起来,在出现网络故障时自动诊断定位并修复,为网络的畅通提供有力的保障.

2 产生式规则

产生式规则是产生式系统的基本概念,用于描述产生式系统中的推理过程和行为^[5].规则前半部分称为条件或者前件,后半部分称为操作或后件.前件表示前提条件,各条件由逻辑连接词(与、或、非)组成不同的组合.后件表示当前条件为真时,应采取的行为或所得的结论.形如 $A \rightarrow B$ 或 IF A THEN B 或其等价形式^[6].

产生式系统的执行就是根据控制策略运用产生式规则的过程,主要分为3步:匹配、冲突解决和操作^[7].匹配是指检验当前的数据状态与规则的条件部分是否互相匹配,如能够匹配,则触发和启用规则,并执行

规则的操作部分.如果在匹配过程中存在一条以上的条件部分与当前数据相匹配,则应进行冲突解决.在此之后,则执行规则的操作部分.

基于网络的可靠性考虑,对网络故障的自动诊断修复过程必须是确定性的,即只对已知的故障进行推理诊断和自动修复,对未知的故障进行报警,协助工作人员来处理故障.针对这一特点,产生式规则用于网络故障的诊断非常合适^[8].根据网络专家以往诊断的经验,将其归纳成规则,并运用规则推理来进行故障诊断,这种方法具有诊断过程简便、快速、准确等优点,符合一般网络工程师处理故障的方式,也能够将专家的经验方便地转化为知识保存下来^[9].

此外,由于真实环境中充满了不确定的因素,在进行故障诊断时应该尽可能将知识库中所有可能性都呈现出来^[10,11],因此,在本文的目标系统中,对于冲突的解决方案是为每个故障设置一个等级,用于表示该故障的威胁程度,等级越高,则越优先进行推理,最终将符合条件的全部进行推理.对于判定规则不明确而存在争议的故障,由专家来进行诊断,这样的设计也非常符合实际应用的需要.

3 系统设计方案

3.1 系统总体结构

总体结构如图1.

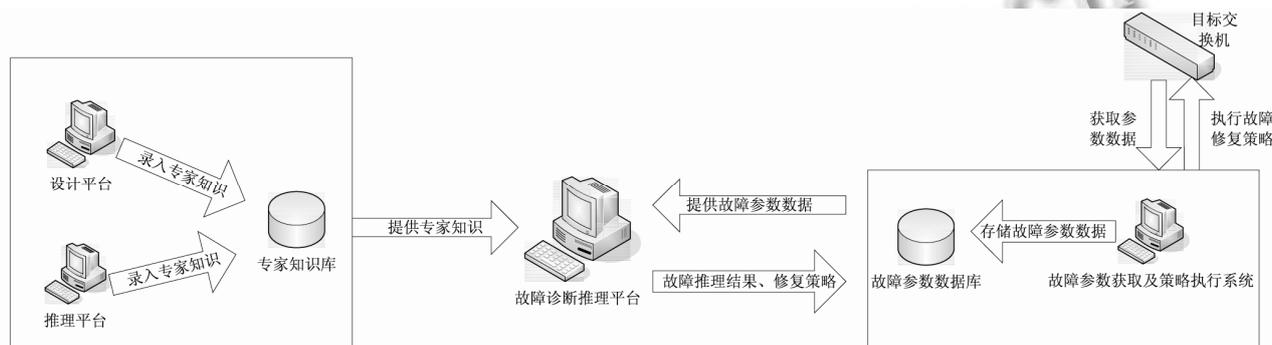


图1 系统总体结构

整个网络故障智能诊断修复系统由三个子系统构成,分别是网络故障诊断设计平台、网络故障诊断推理平台和网络故障参数及策略执行系统.各子系统的功能分别是:

1) 网络故障诊断设计平台

对各种网络故障的信息进行组织管理,为专家和

网络工程师提供录入专家知识的接口,包括网络故障的判据知识以及其修复策略,并存入专家知识库,为故障诊断推理平台提供推理的依据.

2) 故障诊断推理平台

通过对网络设备故障相关的各个参数信息的汇总,结合专家知识,进行推理分析,对可能出现的网络故

障进行智能诊断定位, 并提供修复策略.

3) 故障参数获取及策略执行系统

主要负责与目标网络设备打交道, 通过 SNMP 或交互式的方式获取目标交换机的各项参数信息, 并存入故障参数数据库, 为故障推理平台提供推理的原始

数据; 同时, 接受故障诊断推理平台的推理结果, 并根据推理平台提供的修复策略来对目标交换机进行操作, 以达到修复故障的目的.

系统在进行网络故障诊断修复时的运行处理流程如图 2 所示.

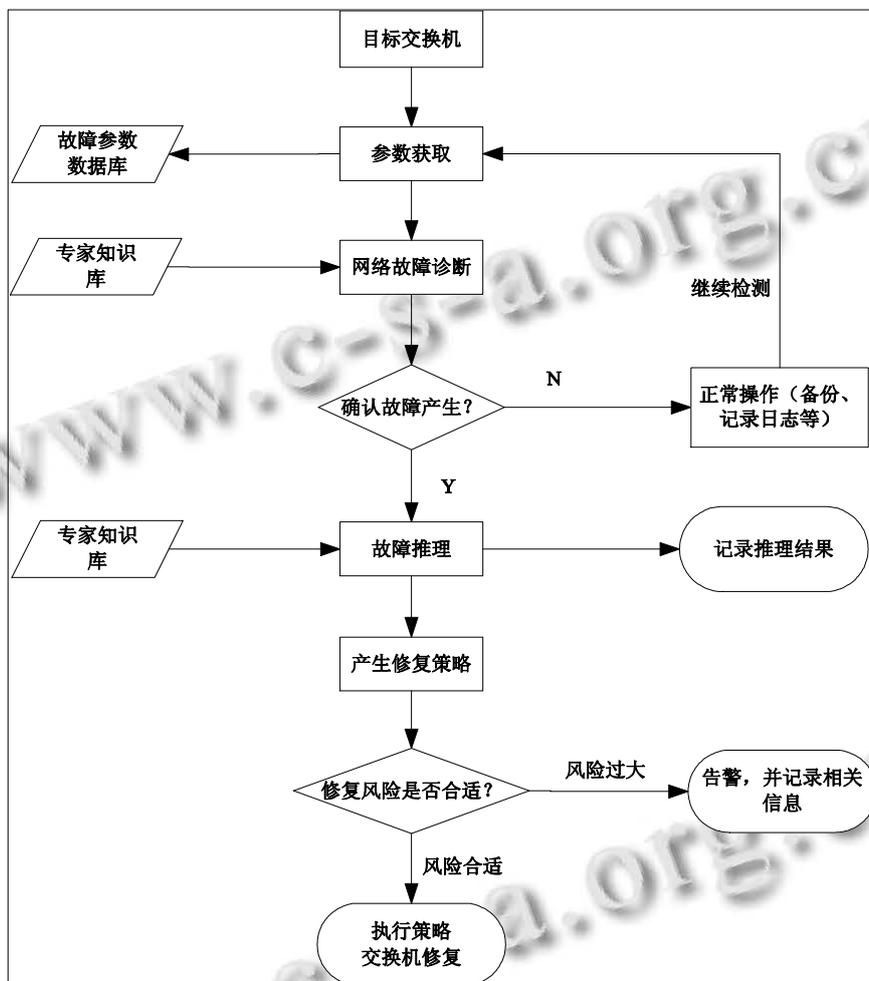


图 2 网络故障诊断修复时的运行处理流程

与传统的故障诊断系统^[12,13]不同的是, 本系统将故障参数的获取系统与故障诊断的推理系统分离, 原因在于:

1) 除了一些固定的性能参数(如 cpu 温度、内存利用率等)外, 判断网络故障的参数往往需要通过交互式的方式来获取, 例如通过串口向交换机发一组指令, 根据其回复信息来获取相应的参数并进行判断.

2) 对于故障诊断推理系统而言, 它需要的只是与故障判据相关的数据, 完全没必要将故障参数获取系统并入到故障诊断系统中.

3) 将参数获取系统与故障诊断推理系统分开, 可以进行模块化的程序设计, 降低开发难度, 同时, 后期的维护也比较容易.

3.2 故障参数获取及策略执行系统

故障参数获取及策略执行系统的结构如图 3.

故障参数获取系统首先通过网口, 利用 SNMP 协议动态获取交换机的信息, 并将信息存储到数据库中. 当网口获取信息失败时, 自动转为通过串口获取交换机的配置和状态信息, 并将参数数据存入数据库.

故障诊断推理平台根据数据库中的参数信息推

理出故障信息, 并给出故障修复策略. 故障参数获取与策略执行系统得到故障修复策略后, 由串口自动执行修复. 修复完成后再进行检测并重新获取交换机参数.

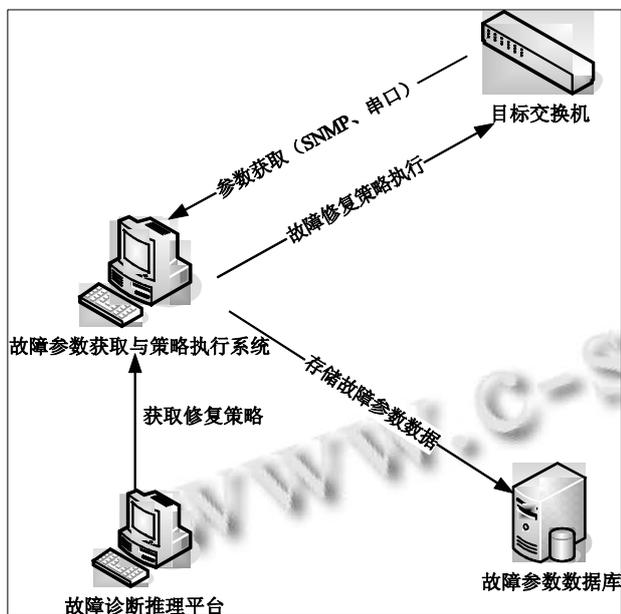


图3 故障参数获取及策略执行系统结构示意图

3.3 网络故障智能诊断修复系统设计平台

在网络故障智能诊断修复系统设计平台中, 专家根据已有经验为具体的网络故障诊断行为进行模板性设计. 系统在后期进行具体的故障诊断时, 从专家知识库中提取需要用的知识(相当于模板、素材), 再进行一定的针对性修改和加工, 形成针对某个具体问题的诊断系统. 系统设计平台结构如图4.

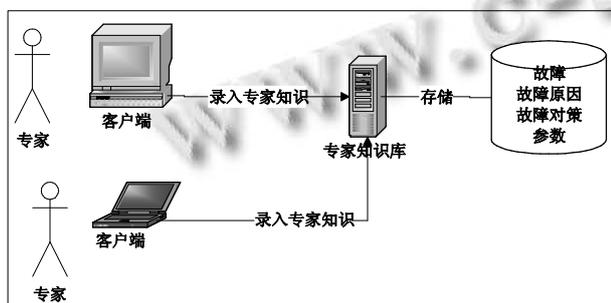


图4 系统设计平台结构示意图

专家在录入故障知识时, 主要录入故障判据及故障的修复策略. 以产生式规则来判断故障, 以一系列交换机执行命令作为故障的修复策略.

1) 故障判据

在日常网络维护工作中, 当出现故障时, 工作人员带笔记本到现场, 通过 console 口查看交换机状态, 然后对故障进行定位, 再通过输入一系列的交换机指令修改交换机配置, 以此来消除故障, 恢复网络^[14]. 对于工作人员来说, 故障的判断依据就是自己给交换机输入一些指令后, 交换机反馈的一些信息, 工作人员通过屏幕上显示的字符信息来定位故障.

在网络故障智能诊断修复系统中, 通过一个 Agent 来代替工作人员^[15], 由参数产生系统向交换机发送请求指令, 然后系统自动地识别交换机反馈出来的状态信息, 通过关键字、字符串匹配等方式来诊断故障. 这种方式正是产生式规则的处理逻辑, 通过 IF THEN 的方式, 利用知识库中的信息, 对已经出现的故障参数进行规则式匹配, 若符合条件则判定为该类故障, 否则, 继续尝试其他的规则式匹配, 直至判定为特定故障为止^[16].

例如:

由于西昌雷雨较多, 经常会出现雷雨天气之后, 某些交换机的配置无故被清空, 为了判断这种故障, 可以设置三个参数:

① routerID 表示当前交换机的 ID, 正常使用的交换机都事先配置好了 ID, 若配置被清空, 则 routerID 为空;

② switchName 表示当前交换机的名称, 正常联入网的交换机都配置了一个自己的名称, 若配置被清空, 则交换机名称自动变为 Quidway, 通过参数获取系统将交换机的名称获取到并存储起来, 以备后续诊断使用;

③ isPortConfigMissing 表示当前交换机的端口配置是否被清空, 一般正常使用的交换机的端口上都有相应的配置信息, 若配置被清空, 则各个端口的配置信息也被清空, 则将该参数置为 1, 否则置为 0.

在录入专家知识时, 通过产生式来判断交换机是否出现了配置无故被清空的故障. 在书写产生式时, 用 IF 语句表示整体判断逻辑, 用 AND, OR 等表示条件之间的逻辑关系, 用 \$ 加参数名表示引用的参数, 例如, 判断交换机的配置是否被清空的产生式为:

```
IF $routerID= '' AND $switchName= 'Quidway'
AND $isPortConfigMissing= '1'
```

2) 故障修复策略

对于网络维护人员来说,出现故障时的修复过程往往是通过 console 口向交换机输入一系列指令的过程,通过不断尝试输入一些指令,并观察交换机的反馈信息,来判断该故障是否被修复.

在网络故障智能诊断修复系统中,修复策略其实是一个交换机指令的模板,里面加入通配符来适用于不同的 Agent. Agent 代替工作人员,在推理平台确定了推理结果并给出修复策略之后,将修复策略中的通配符替换成自己所管理的交换机的信息,然后通过串口向交换机输入指令,达到自动修复的目的.

在故障修复策略中,大部分是交换机的指令,也有一些系统内部特定的指令(如 restoreBackupConfig 指令专门用于恢复备份的配置文件),以及用各种通配符来表示变量或时间,例如 @ 表示延时, { \$ } 表示变量,等等.通过解析这些指令,自动对交换机执行相应的修复操作.

例如,针对交换机的配置被清空这个故障,其修复策略为:

```
system;@1;restoreBackupConfig;@3;quit;@1;save;
@3;y;@1;reboot;@1;n;@1;y
```

3.4 网络故障智能诊断修复系统推理平台

结合专家知识库,故障推理平台根据故障参数数据库提供的数据进行故障的实时诊断,对诊断出的故障提供推理结果和报警信号,并根据知识库提供故障修复策略.故障诊断修复系统推理平台结构如图 5.

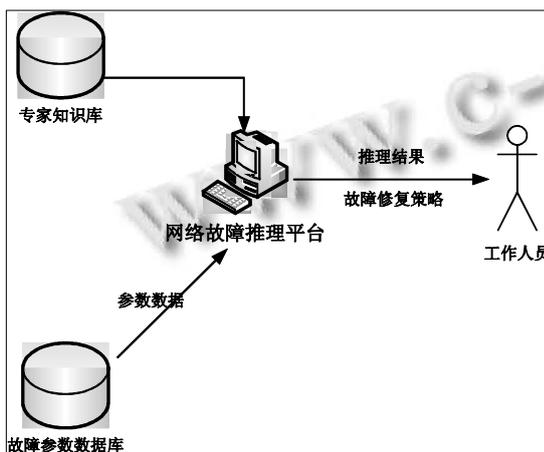


图 5 故障推理平台结构示意图

3.5 故障知识共享

系统的一个特色是实现了网络故障知识的共享.

通过网络故障知识共享, Agent 之间可以同步各自的知识库,这样当某一台远端 Agent 出现一种新的故障时,工作人员处理完故障并通过故障设计平台录入到知识库中,新的故障知识就会自动更新到其他所有同型号设备的 Agent 的本地知识库中,以此来实现全网对新发生故障的免疫.

故障知识共享的过程如图 6 所示,在本系统中,通过使用 SQL Server2005 的数据库环境,在数据库服务器上建立合并发布和事务订阅两类服务,动态地将所有 Agent 的知识库信息进行汇总,并根据网络设备类型对新知识进行合并.所有 Agent 通过订阅服务器上的专家知识库,动态地进行更新,自动识别新的故障并进行诊断和自动修复.图中 Agent1 对 A 型号交换机 1 号机的故障知识进行了更新,通过合并复制机制,该更新随即被复制至中心交换机的合并复制发布处,中心服务器收到该更新后,将数据库相关改动命令发布至订阅方,即图中监控 A 型号交换机 2 号机的 Agent2 上.

4 系统的应用

根据上述设计,实现了网络故障智能诊断修复系统,其界面如图 7.

系统的特点在于将网络故障处理经验转化为基于产生式规则的故障知识,以此进行规则推理来作为判断故障的依据,并能自动地根据诊断出来的信息进行故障自动修复.此外,故障知识自动进行共享,使整个系统的同类型网络设备自动具有了网络故障免疫功能.

5 结论

计算机网络的规模日益复杂,传输的数据逐渐增大,随之产生的故障带来的影响也日趋严重,因此网络故障诊断也必然朝着自动化、智能化的方向发展.而根据以往专家和网络工程师对网络故障的诊断修复经验,将其归纳成产生式规则,并通过规则推理来进行故障诊断的方法过程简便明了,诊断快速准确,能够在无人干预下较好地完成网络故障智能诊断和修复的任务.论文基于产生式规则,提出了网络故障智能诊断修复系统的具体实现方案,并基于此方案实现了一套网络故障智能诊断修复系统,为提高网络通信能力提供有力的支持.

参考文献

- 1 Li Q, Li ZB. Research of Bayesian networks application to transformer fault diagnosis. *Lecture Notes in Computer Science*, 2011, 7004(1): 385–391.
- 2 Zagorecki A, Orzechowski P. Online diagnostic system based on Bayesian networks. *Lecture Notes in Computer Science*, 2013, 7885(1): 150–155.
- 3 Wei XK, Liu LH. Fault diagnosis for high order systems based on model decomposition. *International Journal of Control, Automation and Systems*, 2013, 11(1): 75–83.
- 4 曲朝阳,高宇峰,聂欣.基于决策树的网络故障诊断专家系统模型. *计算机工程*, 2008, 34(22): 215–217.
- 5 Zhao SH, Tharam S. Dillon. Incorporating prior knowledge in the form of production rules into neural networks using boolean-like neurons. *Applied Intelligence*, 1997, 7(4): 275–285.
- 6 高磊,燕雪峰.基于产生式系统的知识建模. *数据采集与处理*, 2009, 24(S1): 332–336.
- 7 Jankowska B, Szymkowiak M. On ranking production rules for rule-based systems with uncertainty. *Lecture Notes in Computer Science*, 2011, 6922(1): 546–556.
- 8 Zilly F, Kluger J, Kauff P. Production rules for stereo acquisition. *Proc. of the IEEE*, 2011, 99(4): 590–606.
- 9 Jain S, Jain NK. Learning techniques in extended hierarchical censored production rules (EHCPRS) system. *Artif. Intell. Rev. (AIR)*, 2012, 38(2): 97–117.
- 10 Bull L. Production system rules as protein complexes from genetic regulatory networks: an initial study. *Evolutionary Intelligence (EVI)*, 2012, 5(2): 59–67.
- 11 Jain S, Jain NK. Acquiring knowledge in extended hierarchical censored production rules (EHCPRS) system. *IJALR*, 2010, 1(4): 10–28.
- 12 Tripathy BK, Acharjya DP, Cynthia V. A framework for intelligent medical diagnosis using rough set with formal concept analysis *CoRR* 2013, abs/1301.6011.
- 13 Widanapathirana C, Li JC, Sekercioglu YA, Ivanovich MV, Fitzpatrick PG. Intelligent automated diagnosis of client device bottlenecks in private clouds *CoRR* 2012, abs/1204.5805.
- 14 Li ZQ, Cheng L, Qiu XS, Zeng YG. Fault diagnosis for large-scale IP networks based on dynamic Bayesian model. *ICNC*. 2009. 67–71.
- 15 安红梅.免疫 Agents 在网络故障诊断中的应用研究[硕士学位论文].太原:太原理工大学,2010.6.
- 16 Pan LZ, Song AG, Xu ZG, Li HJ, Xu BG. Intelligent prescription-diagnosis function for rehabilitation training robot system. *ICIRA*. 2012. 11–20.

(上接第 55 页)

并且主要面向农业大户和合作社性质的用户,所以本系统会不同于一般的电子商务,为了能最大满足用户需求,系统的某些功能后期还需要改进和完善。

参考文献

- 1 张阳,宋良图,黄河,胡宜敏.基于 Google Maps 的农产品价格与供求监测系统. *计算机系统应用*, 2009, 18(11): 16–19.
- 2 王茜,杨莉云,杨德礼.面向用户偏好的属性值评分分布协同过滤算法. *系统工程学报*, 2010, (4): 561–568.
- 3 Roger L, Peterson RE, Ziemer DE, et al. *Introduction to Spread Spectrum Communications*. 北京:电子工业出版社, 2006: 2–28.
- 4 曹志刚,钱亚生. *现代通信原理*. 北京:清华大学出版社, 1992.
- 5 Sarwar B, Karypis G, Konstan J, et al. Item-based collaborative filtering recommendation algorithms. *Proc of the 10th Int'l World Wide Web Conf. New York, ACM Press*. 2001. 285–295.
- 6 Deshpande M, Karypis G. Item-based top-n recommendation algorithms. *ACM Trans. on Information Systems*, 2004, 22(1): 143–177.
- 7 李幼平,尹柱平.基于用户行为与角色的协同过滤推荐算法. *计算机系统应用*, 2011, 20(11): 103–106.
- 8 汪静,印鉴.一种优化的 Item-based 协同过滤推荐算法. *小型微型计算机系统*, 2010, 31(12): 2337–2342.