

基于域间依赖模型的多域故障诊断算法

简江涛, 荀 鹏, 蔡开裕

(国防科学技术大学 计算机学院, 湖南 长沙 410073)

摘 要:在多域环境下,组合服务所调用的子服务跨越多个管理域,对域间故障传播产生的跨域症状进行诊断时需要管理域之间相互协作。针对这一问题,文中提出了域间依赖模型,阐明了症状与管理域的依赖关系,并基于该模型提出多域故障诊断算法,并从时间性能方面对算法进行了改进。文中首先通过症状簇划分算法对症状集合进行划分,对同一症状簇协同诊断;然后通过对跨域症状与关联域依赖关系的概率评估,选择最可能的关联域集合进行诊断;最后,仿真结果表明该算法可以较为准确地诊断多域环境下的服务故障。

关键词:依赖关系;域间依赖模型;故障诊断;概率评估;症状簇

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)04-0013-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.04.004

Multi-domain Fault Diagnosis Algorithm Based on Inter-domain Dependency Model

JIAN Jiang-tao, XUN Peng, CAI Kai-yu

(College of Computer, National University of Defense Technology,
Changsha 410073, China)

Abstract: In multi-domain environment, the composite service is composed of multiple sub-services crossing different administrative domains, and symptoms caused by inter-domain fault propagation need administrative domain work with each other to diagnose. In response to this problem, propose a multi-domain dependency model which describes the dependence relationship between symptom and associated domain. Based on the dependency model, a multi-domain fault diagnosis algorithm is proposed, and the algorithm is improved in time performance. First, divide the set of symptoms into clusters of symptoms by clustering algorithm, and a cluster of symptoms will be diagnosed together. Then choose the set of most probable domains to diagnose by evaluating the probability of dependence relationship between symptom and associated domain. Lastly the simulation results show that the algorithm can accurately diagnose service fault in multi-domain environment.

Key words: dependence relationship; inter-domain dependency model; fault diagnosis; probabilistic evaluation; cluster of symptoms

0 引 言

随着技术的发展,信息系统服务不再由单一的服务提供商提供,而是由分布在跨管理域的多个组织或企业的众多子服务组成。在这种高度分布式的环境中,当信息系统发生故障时,故障定位分析变得十分困难,难以判断故障点。多域故障分析与定位技术是多域服务管理的一个关键技术,对解决故障,快速恢复系统运行具有重要意义。

目前,针对服务故障管理已有较多研究^[1-5]。Bhoj等^[6]提出了联合环境下的服务水平管理,提出了服务信息跨域选择性共享,既为确保服务管理提供足够的

信息,又避免了信息被不必要的获取。Katzela等^[7]分析和比较了集中式和分布式故障诊断技术的计算复杂性和诊断准确率,提出了分布式故障诊断技术的理论基础。Kanuparth等^[8]阐述了 Pythia 系统对性能故障的定位诊断方法,但是 Pythia 系统是通过分布在管理域内的 Pythia 节点进行监控和测试来完成其功能的,这要求在通过 Pythia 系统进行多域环境下的故障诊断时必须在每个管理域都安装足够的 Pythia 节点,因而 Pythia 在实际应用中有很大的局限性。褚灵伟等^[9]提出了一个多域环境下的分布式故障诊断算法,但该算法没有重点关注同时发生的多个症状之间可能存在的

收稿日期:2014-05-19

修回日期:2014-08-25

网络出版时间:2015-02-23

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61170285);信息保障实验室科技基金(KJ-12-07)

作者简介:简江涛(1991-),男,硕士研究生,研究方向为计算机网络服务管理;蔡开裕,硕士生导师,研究方向为计算机网络与通信。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150223.1233.012.html>

关联,主要针对单个症状进行分析,影响了算法的效率和准确率。Bouloutas 等^[10]提出了分布式网络模型,将关联症状共同进行诊断,但是没有考虑跨域对故障诊断的影响。

文中提出了域间依赖模型,并以此为基础对多域环境下的故障诊断方案进行研究。首先,提出了域间依赖模型和症状簇划分算法;然后,提出了症状和管理域依赖关系概率评估机制和多域故障诊断算法;最后,通过仿真实验验证了多域故障诊断算法的准确性。

1 域间依赖模型

1.1 域间依赖模型的建立

假设当前管理域观察到一个存在跨域依赖关系的症状节点,该症状节点和 m 个下层节点存在依赖关系,而这 m 个下层节点又分别属于 n 个管理域。以往的依赖模型侧重于研究该症状和 m 个下层节点的依赖关系,但是在多域故障诊断中由于各个管理域的分隔,管理域内部结构对其他域透明,首先需要对症状的关联域进行判断,将症状分配给最可能引发该症状的管理域进行下一步诊断。基于这一点,文中提出了域间依赖模型,重点研究跨域症状与管理域的依赖关系。为便于描述,做如下定义:

定义 1: 域集合 φ , φ 包含所有参与联合故障管理

的域, φ 中域的数目表示为 $|\varphi|$ 。

定义 2: 节点集合 $S_N = \{s_1, s_2, s_3, \dots\}$, S_N 包含属于当前域管理的所有节点。

定义 3: 症状集合 S_Y , S_Y 表示当前域观察到出现症状的节点集合,出现症状的节点的个数表示为 $|S_Y|$ 。

定义 4: 依赖关系集合 R , 包含节点间所有依赖关系。 $R = \{R_1, R_2, R_3, \dots\}$, R 中关系的个数表示为 $|R|$ 。

定义 5: $P_{\text{pri}}(s_i)$ 为节点 s_i 出现故障的先验概率。

定义 6: $P_{\text{con}}(s_i | s_j)$ 表示故障依赖强度,即下层节点 s_j 出现故障时上层节点 s_i 表现出症状的概率。

定义 7: $\text{Par}(s_i)$, 与上层节点 s_i 存在依赖关系的下层节点集合。

定义 8: $\text{Child}(s_i)$, 与下层节点 s_i 存在依赖关系的上层节点集合。

在对跨域症状进行关联域判断时,只需要对跨域症状和管理域的依赖关系进行分析,而对具体的症状和节点的依赖关系并不关心。因此,在依赖模型中,提取症状和节点的依赖关系以及节点与管理域的从属关系,转化为跨域症状和管理域的依赖关系。

图 1 显示了多域场景下建立依赖模型的一个简单例子。

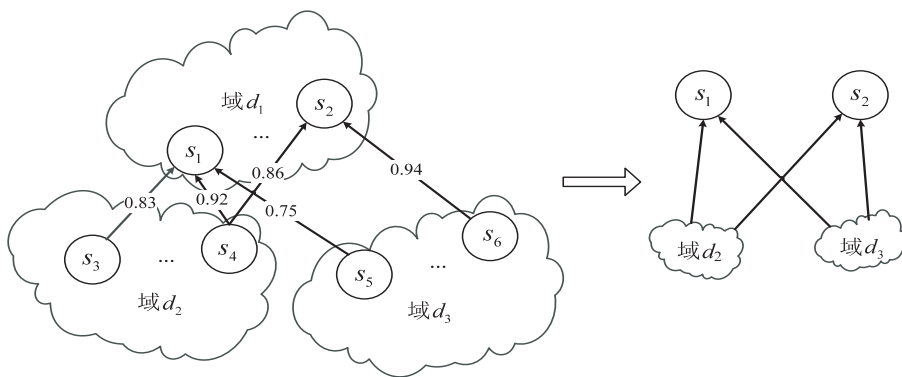


图 1 域间依赖模型

当节点 s_1 和 s_2 出现症状时,通过提取 s_1 和 $\text{Par}(s_1)$ 、 s_2 和 $\text{Par}(s_2)$ 的依赖关系以及 $\text{Par}(s_1)$ 、 $\text{Par}(s_2)$ 和域 d_2 、 d_3 的从属关系,得到节点 s_1 、 s_2 与域 d_2 、 d_3 的依赖关系。

1.2 症状集合划分

如果某些症状拥有相同的关联域,那么这些症状很可能是由同一故障或故障集引起的,对这些症状分别进行诊断的结果和联合进行诊断的结果可能不相同,所以需要对这些症状联合进行诊断。基于这一点,为了更好地进行联合症状分配,引入症状簇的概念。如果一个症状的关联域集合和某些症状的关联域集合的交集不为空,则它们属于同一个症状簇,即一个症状

簇中任意症状和该症状簇中的某些症状存在相同的故障关联域,不同症状簇的症状之间不存在相同的故障关联域。

由于同一症状簇的症状之间的关联,因此对属于同一个症状簇的症状进行联合分配更可能找到最优的故障假设,能更好地解决多域故障管理问题。除此之外,从域间依赖模型来看,对于分属不同症状簇的症状,它们的故障诊断过程是相互独立的,是否对它们联合进行诊断对诊断结果没有影响,而且分别诊断也有利于简化计算,方便故障诊断。

因此,在对跨域症状集合 S_Y 进行诊断前,首先需要将 S_Y 划分为多个症状簇,再对各个症状簇分别诊

断。为了对症状集合进行划分,设计了症状簇划分算法。

算法1:症状簇划分算法。

```

输入:症状集合  $S_Y$ ,  $S_Y$  中所有症状节点的关联域集合  $\{\dots, s_m \cdot \text{domain}, \dots\}$ 
输出:症状簇集合  $\{S_{Y_i}, S_{Y_j}, \dots\}$ 
Step1: 获取  $S_Y$  中症状个数  $S_Y \cdot \text{length} = |S_Y|$ 
Step2: ArrayList<SData>SList = new ArrayList<SData>(>()); //SData 为症状数据
while(  $S_Y \cdot \text{length} \neq 0$  )
{
    初始化  $S_{Y_i} = \emptyset$ ;
    for(int  $i = 0$ ;  $i < S_Y \cdot \text{length}$ ;  $i++$ )
    {
        获取  $S_Y$  中第  $i$  个症状  $s_m$ ;
        if(  $s_m \cdot \text{domain} \cap S_{Y_i} \cdot \text{domain} \neq \emptyset \parallel S_{Y_i} \cdot \text{domain} = \emptyset$  )
        {
            //  $S_{Y_i} \cdot \text{domain} = \bigcup_{s \in S_{Y_i}} s \cdot \text{domain}$ 
            将  $s_m$  加入  $S_{Y_i}$ ;
            从  $S_Y$  中删除  $s_m$ ;
             $S_{Y_i} \cdot \text{domain} = S_{Y_i} \cdot \text{domain} \cup s_m \cdot \text{domain}$ ;
        }
        else
        {
             $i++$ ;
        }
    }
    SList.add(  $S_{Y_i}$  );
}

```

2 多域故障诊断算法

2.1 多域故障诊断预处理阶段

在多域环境下,组合服务所调用的子服务跨越多个管理域,由于域边界的存在,各个管理域的内部结构对其他域是透明的,因此在对跨域症状进行诊断时无法直接对故障进行定位,需要进行预处理以获得足够的相关信息,需要进行诊断。

当检测到症状集合 S_Y 时,管理域 d_l 首先获取与 S_Y 中节点存在依赖关系的所有下层节点 $\text{Par} \mid S_Y$ 的相关信息,并根据域间依赖模型将 S_Y 映射到关联域集合。管理域 d_l 将 $\text{Par} \mid S_Y$ 中位于其他管理域内的节点向它们所从属的各个域报告,请求获取这些节点的相关信息。关联域收到其他域报告的症状关节点后,需要将这些节点的故障先验概率等相关信息返回报告症状的管理域 d_l 。管理域 d_l 收到返回的域外关节点的相关信息后,结合本管理域内关节点的信息,通过预定机制对假设故障关联域进行概率评估,最后选

择最优的假设故障关联域集合,将症状集合 S_Y 分配给最可能导致这些症状的关联域集合进行诊断。

2.2 症状和管理域依赖关系的概率评估

以往的故障传播模型根据节点故障的先验概率 $P_{\text{pri}}(s_i)$ 和节点之间的依赖强度 $P_{\text{con}}(s_i \mid s_j)$ 等对故障传播进行概率评估,这些值可以通过观测、历史诊断数据给出,也可以通过故障注入技术^[11]、服务依赖发现工具^[12]获得。而根据域间依赖模型,为了对症状关联域进行判断,需要对症状和管理域的依赖关系进行概率评估。

以 $S_{s_i \cap d_l}$ 表示与上层节点 s_i 存在依赖关系并且从属于域 d_l 的下层节点集合,即 $S_{s_i \cap d_l} = \text{Par}(s_i) \cap d_l$ 。首先对单个跨域症状进行分析,当节点 s_i 出现症状时,对域 d_l 可能引发这一症状的概率评估推理如下:

$$P(d_l \mid s_i) = \sum_{s \in S_{s_i \cap d_l}} P_{\text{pri}}(s) \cdot P_{\text{con}}(s_i \mid s_j) \quad (1)$$

基于公式(1),对观测到多个跨域症状的情况进行分析,对于解释症状集合 S 的一个假设故障节点集合 $h = (\dots, s_i, s_j, \dots)$,由于存在多个症状由同一节点故障解释的情况,假设集合中故障节点个数可能小于 S 中的症状数。用 $S_{h \subset S_Y}$ 表示假设 h 中节点 s_i 解释的症状集合,即 $S_{h \subset S_Y} = S \cap \text{Child}(s_i)$,假设 h 成立的概率评估推理如下:

$$P(h) = \prod_{s \in h} \{P(s) \prod_{s' \in S_{h \subset S_Y}} P_{\text{con}}(s' \mid s)\} \quad (2)$$

按照域间依赖模型,将从属于同一个关联域的多个假设节点视为一个整体,按照关联域进行分析。根据症状节点与关联域的依赖关系,通过映射得到症状集合 S 的假设关联域集合。对于 S 的一个假设关联域集合 $H = \{\dots, d_l, \dots\}$,可以转换为多个假设故障节点集的集合,即 $H' = \{\dots, h_i, h_j, \dots\}$,从而通过计算 H' 的概率评估值可以得到 H 的概率评估值:

$$P(H) = P(H') = \sum_{h \in H} \left(\prod_{s \in h} \{P(s) \prod_{s' \in S_{h \subset S_Y}} P_{\text{con}}(s' \mid s)\} \right) \quad (3)$$

在计算结束后,当前域选择 $P(H)$ 最大的假设关联域集合 H 作为跨域症状集合 S 的协商域集合。

2.3 算法

当管理域检测到多个故障时,首先对症状集合进行划分,分成不同的故障簇进行诊断。一个故障簇内的故障进行联合症状分配,同时结合概率评估值进行比较,获取最大概率评估值的症状分配方案。为了方便描述,做如下定义:

定义9:关联域集合 H_{s_i} ,即可能引起第 i 个症状 s_i 的故障所在的关联域的集合。

定义10:假设集合 H_i ,包含可以解释症状 s_1 至 s_i

的假设集合。

在多域故障诊断算法中,为每个跨域症状选择所有与其存在依赖关系的管理域作为它的关联域集合,通过用 H_{s_i} 更新假设集合 H_{i-1} 的方式来获得 H_i 。

算法 2:多域故障诊断算法。

输入:症状集合 S

输出:最大概率假设关联域集合 h

Step1:置故障假设集合 $H_0 = \emptyset$;

Step2:获取所有症状的 H_{s_i} ;

Step3:通过 H_{s_i} 对 H_{i-1} 中不能解释症状 s_i 的关联域假设集 h_j 进行更新, $S = S - s_i$;

Step4:重复步骤 3 直至 S 为空集,得到故障假设集 H ;

Step5:计算 H 中所有假设集概率,选取最大概率假设关联域集合 h 。

2.4 多域故障诊断改进算法

在 2.3 中,多域故障诊断算法通过迭代假设获取所有可能的关联域假设集,当管理域数目较多时,关联域假设集数目较大,影响算法性能。

为了减小计算的复杂性,通过迭代假设获取关联域假设集时采用一定的机制进行筛选,去除可能性较小的关联域假设。

定义 11:函数 $m(d_i)$,即 H_{i-1} 中既包含 d_i 又能解释症状 s_i 的所有假设中,所包含关联域数目的最小值。

由于发生故障是小概率事件,所以在绝大多数情况下,同时发生多个故障的可能性小于发生单个故障。基于这一假设,对算法进行改进,在假设迭代更新的过程中,按一定规则移除关联域数目更多的假设。在改进算法中,对于关联域 $d_i \in H_{s_i}$ 和关联域假设集 $h_j \in H_{i-1}$,仅当 h_j 中关联域的数目 $|h_j|$ 小于 H_{i-1} 中所有包括域 d_i 的假设集的关联域数目的最小值 $m(d_i)$ 时,域 d_i 才能加入 h_j 中。

算法 3:多域故障诊断改进算法。

输入:症状集合 S

输出:最大概率假设关联域集合 h

Step1:定义 $H_0 = \emptyset$,对所有 $d_i \in \varphi$,定义 $m(d_i) = |\varphi|$

Step2:for (int $i = 0$; $i < S.length$; $i++$) // $S.length$ 为症状集合 S 中症状个数

{
获取 H_{s_i} ;

for (int $j = 0$; $j < H_{i-1}.length$; $j++$) // $H_{i-1}.length$ 为假设关联域集合 H_{i-1} 中假设个数

{
if($h_j \cap H_{s_i} \neq \emptyset$)
}

for all $d_i \in (h_j \cap H_{s_i})$

$m(d_i) = \min(m(d_i), |h_j|)$;

将 h_j 加入 H_i ;

}

else

for all $d_i \in H_{s_i}$

if($m(d_i) > |h_j|$)

将 $h_j \cup \{d_i\}$ 加入 H_i ;

}

}

$H = H_{s_i}.length$;

选取 H 中最大概率假设关联域集合 h

3 仿真结果及分析

文中以多域服务环境为仿真场景,测试的管理域规模为 10 ~ 100,每个管理域包含服务规模为 10 ~ 50。为保证数据的可靠性,对每个场景仿真 1 000 次,最后取平均值作为测试结果。

3.1 评价指标

结合文献[13-14]对故障诊断的评价方法,文中采用诊断时间、诊断率 (Diagnosis Rate, DR) 和误判率 (False Positive Rate, FPR) 作为算法的评价指标。其中 DR 和 FPR 定义如下:

$$DR = |F_T \cap H| / |F_T| \quad (4)$$

$$FPR = |H - F_T| / |H| \quad (5)$$

其中, F_T 为真实发生的故障; H 为故障诊断算法得到的故障集。

3.2 结果分析

图 2 比较了故障诊断率,比较多域故障诊断算法和改进算法曲线可知,改进算法的诊断率略低于多域故障诊断算法,这是由于改进算法在筛选中剔除了部分假设。同样也是由于这一原因,改进算法的误判率略高于多域故障诊断算法,结果如图 3 所示。

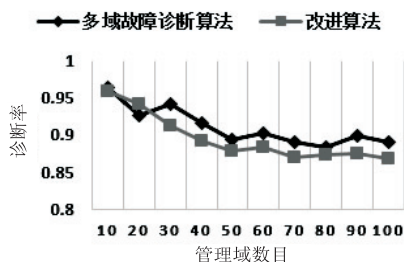


图 2 故障诊断率

图 4 比较了故障诊断时间,比较二者曲线可知,改进算法的诊断时间优于多域故障诊断算法,随着管理域规模的增大,这一差距更加明显。这是由于多域故障诊断算法考虑了所有可能的故障假设,计算规模大

于改进算法。由此可见,如果采用适合的筛选机制,可以在诊断率、误判率和诊断时间之间取得较好的平衡。

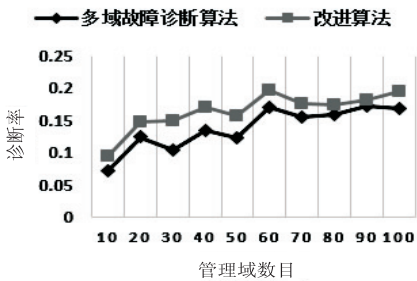


图3 故障误判率

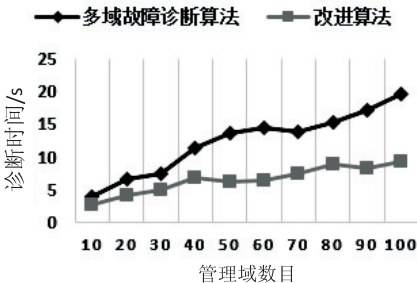


图4 故障诊断时间

4 结束语

文中重点研究了多域服务环境下的故障诊断问题,提出了域间依赖模型,并基于该模型提出了基本的多域故障诊断算法和改进算法。改进算法采取了以可靠性换取时间复杂度的方案,牺牲诊断率和误判率换取时间性能的较大改善。仿真结果显示,改进算法具有较好的诊断率、误判率和时间性能。

参考文献:

[1] 李晶,朱敏.一种基于事件驱动的SOA故障疑似集选择算法[J].计算机应用与软件,2011,28(5):181-183.

[2] 杜晓丽,朱程荣,熊齐邦.一种基于依赖图的故障定位算法[J].计算机应用,2004,24(B12):67-69.

[3] 范贵生,虞慧群,陈丽琼,等.基于Petri网的服务组合故障诊断与处理[J].软件学报,2010,21(2):231-247.

[4] Fischer W,Xie G,Young J. Cross-domain fault localization: a case for a graph digest approach [C]//Proc of IEEE third workshop on Internet network management. Orlando, FL: IEEE,2008:1-6.

[5] 马会彬,赵晓南,李战怀.具有自律特征的网络故障管理框架[J].微电子学与计算机,2006,23(8):49-52.

[6] Bhoj P,Singhal S,Chutani S. SLA management in federated environments[J]. Computer Networks,2001,35(1):5-24.

[7] Katzela I,Bouloutas A T,Calo S B. Centralized vs distributed fault localization [C]//Proceedings of the fourth international symposium on integrated network management IV. Santa Barbara CA,USA:[s.n.],1995:250-261.

[8] Kanuparth P,Lee D,Matthews W, et al. Pythia: detection, localization, and diagnosis of performance problems [J]. Communications Magazine,2013,51(11):55-62.

[9] 褚灵伟,邹仕洪,程时端,等.多域服务环境下的分布式故障诊断算法[J].电子与信息学报,2010,32(4):836-840.

[10] Bouloutas A T,Calo S B,Finkel A, et al. Distributed fault identification in telecommunication networks [J]. Journal of Network and Systems Management,1995,3(3):295-312.

[11] Bagchi S,Kar G,Hellerstein J. Dependency analysis in distributed systems using fault injection: application to problem determination in an e-commerce environment [C]//Proc of 12th international workshop on distributed systems: operations and management. Nancy:[s.n.],2001:1-14.

[12] Basu S,Casati F,Daniel F. Web service dependency discovery tool for SOA management [C]//Proc of 2007 IEEE international conference on services computing. Salt Lake City, UT: IEEE,2007:684-685.

[13] 褚灵伟,邹仕洪,程时端,等.概率和噪声环境下基于主动探针的Internet服务故障管理[J].中国科学: E辑,2008,38(10):1733-1746.

[14] 张顺利,邱雪松,孟洛明.网络虚拟化环境下的服务故障诊断算法[J].软件学报,2012,23(10):2772-2782.

[15] 王磊.信息系统动态知识更新的矩阵方法研究[D].成都:西南交通大学,2013.

[16] 王磊,李天瑞.基于矩阵的粗糙集上下近似的计算方法[J].模式识别与人工智能,2011,24(6):756-762.

[17] 张文修,吴伟志,梁吉业,等.粗糙集理论与方法[M].北京:科学出版社,2005.

[18] 刘财辉,苗夺谦.基于矩阵的粗糙集上、下近似求解算法[J].计算机应用研究,2011,28(5):1628-1630.

[19] 杨纶标,高英仪.模糊数学原理及其应用[M].广州:华南理工大学出版社,2008.

[20] 黄正华,胡宝清.模糊粗糙集理论研究进展[J].模糊系统与数学,2005,19(4):125-134.

[1] 李晶,朱敏.一种基于事件驱动的SOA故障疑似集选择算法[J].计算机应用与软件,2011,28(5):181-183.

[2] 杜晓丽,朱程荣,熊齐邦.一种基于依赖图的故障定位算法[J].计算机应用,2004,24(B12):67-69.

[3] 范贵生,虞慧群,陈丽琼,等.基于Petri网的服务组合故障诊断与处理[J].软件学报,2010,21(2):231-247.

[4] Fischer W,Xie G,Young J. Cross-domain fault localization: a case for a graph digest approach [C]//Proc of IEEE third workshop on Internet network management. Orlando, FL: IEEE,2008:1-6.

[5] 马会彬,赵晓南,李战怀.具有自律特征的网络故障管理框架[J].微电子学与计算机,2006,23(8):49-52.

[6] Bhoj P,Singhal S,Chutani S. SLA management in federated environments[J]. Computer Networks,2001,35(1):5-24.

[7] Katzela I,Bouloutas A T,Calo S B. Centralized vs distributed fault localization [C]//Proceedings of the fourth international symposium on integrated network management IV. Santa Barbara CA,USA:[s.n.],1995:250-261.

[8] Kanuparth P,Lee D,Matthews W, et al. Pythia: detection, localization, and diagnosis of performance problems [J]. Communications Magazine,2013,51(11):55-62.

[9] 褚灵伟,邹仕洪,程时端,等.多域服务环境下的分布式故障诊断算法[J].电子与信息学报,2010,32(4):836-840.

[10] Bouloutas A T,Calo S B,Finkel A, et al. Distributed fault identification in telecommunication networks [J]. Journal of Network and Systems Management,1995,3(3):295-312.

[11] Bagchi S,Kar G,Hellerstein J. Dependency analysis in distributed systems using fault injection: application to problem determination in an e-commerce environment [C]//Proc of 12th international workshop on distributed systems: operations and management. Nancy:[s.n.],2001:1-14.

[12] Basu S,Casati F,Daniel F. Web service dependency discovery tool for SOA management [C]//Proc of 2007 IEEE international conference on services computing. Salt Lake City, UT: IEEE,2007:684-685.

[13] 褚灵伟,邹仕洪,程时端,等.概率和噪声环境下基于主动探针的Internet服务故障管理[J].中国科学: E辑,2008,38(10):1733-1746.

[14] 张顺利,邱雪松,孟洛明.网络虚拟化环境下的服务故障诊断算法[J].软件学报,2012,23(10):2772-2782.

(上接第12页)

[1] 杨勇.粗糙集的矩阵定义[J].计算机工程与应用,2007,43(14):1-2.

[2] 罗来鹏.粗糙集的矩阵关系[J].数学的实践与认识,2009,39(23):203-207.

[3] 罗来鹏,刘二根,曾毅.粗糙集理论研究的矩阵方法[J].系统工程与电子技术,2009,31(4):859-862.

[4] Zhang Junbo,Li Tianrui,Ruan Da, et al. Rough sets based matrix approaches with dynamic attribute variation in set-valued information systems [J]. International Journal of Approximate Reasoning,2012,53(4):620-635.

[5] Liu Guilong. The axiomatization of rough set upper approximation operation [J]. Fundamenta Informaticae,2006,69(3):331-342.

[1] 杨勇.粗糙集的矩阵定义[J].计算机工程与应用,2007,43(14):1-2.

[2] 罗来鹏.粗糙集的矩阵关系[J].数学的实践与认识,2009,39(23):203-207.

[3] 罗来鹏,刘二根,曾毅.粗糙集理论研究的矩阵方法[J].系统工程与电子技术,2009,31(4):859-862.

[4] Zhang Junbo,Li Tianrui,Ruan Da, et al. Rough sets based matrix approaches with dynamic attribute variation in set-valued information systems [J]. International Journal of Approximate Reasoning,2012,53(4):620-635.

[5] Liu Guilong. The axiomatization of rough set upper approximation operation [J]. Fundamenta Informaticae,2006,69(3):331-342.

基于域间依赖模型的多域故障诊断算法

作者：[简江涛](#)，[荀鹏](#)，[蔡开裕](#)，[JIAN Jiang-tao](#)，[XUN Peng](#)，[CAI Kai-yu](#)

作者单位：[国防科学技术大学 计算机学院, 湖南 长沙, 410073](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2015(4)

引用本文格式：[简江涛](#). [荀鹏](#). [蔡开裕](#). [JIAN Jiang-tao](#). [XUN Peng](#). [CAI Kai-yu](#) [基于域间依赖模型的多域故障诊断算法](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(4)