

基于模糊逻辑的数字家庭业务调度算法

杜健 陈宏滨 赵峰

(桂林电子科技大学信息与通信学院 桂林 541004)

摘要 近年来数字家庭技术迅猛发展,但业务调度还不够智能。提出一种基于用户偏好和模糊逻辑的数字家庭业务智能调度算法。该算法首先根据用户当前行为和时间段,应用模糊逻辑判断所处情景模式,再根据用户的行为偏好、心理状态和所处时间段预判出用户将要使用的业务。结果表明,先判断情景模式再预判业务的算法其成功匹配率明显高于直接预判业务的算法。考虑用户行为偏好和心理状态的算法更适应个性化的数字家庭环境,与最大最小公平调度等经典算法相比,提出的算法成功匹配率更高。

关键词 数字家庭,业务调度,用户偏好,模糊逻辑,最大最小公平调度

中图分类号 TN915.41 **文献标识码** A

Digital Home Service Scheduling Algorithm Based on Fuzzy Logic

DU Jian CHEN Hong-bin ZHAO Feng

(School of Information & Communication, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract Digital home technologies develop rapidly in recent years while the service scheduling is not very smart. An intelligent digital home service scheduling algorithm based on user preference and fuzzy logic was proposed. Firstly, fuzzy logic is applied to determine the scenario according to the user's current behavior and times duration. Then, user preference, psychological state and time duration are considered to predict the user's next service. The results show that compared to the algorithm which predicts the next service directly, the algorithm which first determines the scenario then predicts the next service has higher successful matching rate. The algorithm considering user preference and psychological state better adapts to the personalized digital home environment. Compared to the classical algorithms like minimax fair scheduling, the proposed algorithm attains higher successful matching rate.

Keywords Digital home, Service scheduling, User preference, Fuzzy logic, Minimax fair scheduling

1 引言

数字家庭^[1]源自十几年前美国人提出的智慧屋概念,借助信息和通信技术,如大量可操纵的、协同工作的传感器和执行器,对住宅中的通信、家电、安保设备进行监视、控制与管理,将数字化、智能化技术引入人类日常生活中,可提供灵活、方便、安全、舒适的家居环境。近年来数字家庭技术在我国发展迅猛,并不断深入家庭应用。在标准方面,出现了信息设备资源共享协同服务标准^[2],支持各种 3C(Computer, Consumer electronics & Communication devices)设备智能互联、资源共享和协同服务;在安全认证^[3]方面,多 SSID 和 VLAN、802.1X 可使无线用户在漫游到无线网络的不同区域后,仍然保持自己原有的 VLAN 信息,维护自己在网络中的响应权限。在网络控制系统和硬件设计方面,以嵌入式系统为核心,设计了具有网络监测功能的控制器,通过系统集成实现智能家居控制系统,将温湿度、调光模块、电动窗帘等部分相结合,采用 ZigBee^[4]和数据采集模块实现数字家庭信息控制。上述研究大部分聚焦于数字家庭的使能技术,如基础构架、软件、硬件

等,很少涉及智能业务调度。海尔 U-Home^[5]在应用角度初步做到智能业务调度,设计了聚会、娱乐等情景模式,提供了固定的家居状态,但并没有考虑到不同用户随环境变化的不同需求。因此从实际应用角度出发,要想提高数字家庭的使用效果,不仅需要提高技术水平,而且还要从人性化的角度进行智能的业务调度。

现有的数字家庭业务调度,是从移动终端人为地选择想要启动的业务,基本可实现随时随地控制家居。但临时调度业务时,对于需要等待才能出现效果的业务,其显得并不便捷和灵活,例如多媒体业务需要缓冲一段时间才可流畅观看,空调需要至少 3 分钟才起到降低室温的作用。用户每次都必须提前考虑调度的业务,来控制数字家庭各种家居达到理想状态,智能化生活仅得到部分显现。为此,如果网络控制系统能够自主识别出用户想要启动的下一个业务,自动提前调度业务,就给人们的生活带来更多的便利和舒适。本文提出一种数字家庭业务智能调度算法,利用在家居环境中获取的用户行为信息,如用户的行为偏好、心理状态、业务发生时间段等,结合模糊逻辑推理预测用户将要使用的业务。

到稿日期:2012-08-13 返修日期:2012-12-03 本文受国家自然科学基金项目(61162008,61172055),教育部重点项目(212131),广西教育厅重点项目(201202ZD045),广西无线宽带通信与信号处理重点实验室开放基金项目(12103)资助。

杜健(1990-),女,硕士生,主要研究方向为数字家庭网络,E-mail:chbscut@163.com;陈宏滨(1981-),男,博士,副教授,主要研究方向为传感器网络、认知无线电;赵峰(1974-),男,博士,研究员,主要研究方向为无线通信技术。

模糊理论体系^[6]由 Zadeh 于 1965 年提出,是经典集合理论的拓展,与 Sugeno 提出的模糊测度概念^[7]非常接近。关于模糊概念的近似提议,还有在同一时间段由 Shafer 提出的证据理论^[8]等。模糊逻辑在临床诊治^[9]、控制系统^[10]、图像处理^[11]和模型识别^[12]等领域已经得到广泛的研究,主要作用体现在逻辑推理上,把专家用自然语言表述的知识和控制经验通过模糊理论转换成数学函数,再用计算机进行处理。为使家庭网络控制系统能够尽可能成功地判断出用户的下一个业务,如:吃饭、洗澡、学习等,需要对用户行为偏好和发生时间段等数据进行融合处理。国外已有很多数据融合处理方面的研究,大体归为两类:1) 概率模型,如贝叶斯推理^[13]、遗传算法等,当数据在统计模型中个数不足或种类繁杂时,此类方法会因此受限;2) 连接模型,如神经网络 MLP^[14]和 SVM^[15],它们都有非常稳固有效的非线性判断系统,但代价是该类系统十分复杂,不易理解。基于上述问题并考虑到数据处理过程的难易程度,我们确定模糊逻辑是数字家庭业务调度最适用的算法。

2 数字家庭业务调度模型

我们设计的数字家庭业务调度模型如图 1 所示,分为居家休闲、睡眠、临进出门、外出 4 个场景(这个模型不一定囊括所有的场景,但是其它场景很容易加到该模型中)。每个场景中有 2~5 种不同的业务。根据对正常人生活起居的观测,居家休闲场景设置了 5 个最经常发生的业务:用餐、淋浴、看电视、室内对讲和高速上网。睡眠场景提供室内对讲,方便观察小孩的入睡状况,窗帘、灯光用于调节睡眠环境,远程监控可以无需走出卧室就能查看并控制各智能家居开闭状态。临进出门场景,是用户即将回到家或者马上出门时的状态,此场景为用户提供远程遥控业务,即用户可在回家的路上打开热水器、空调,方便进门后马上得到放松。交通提示用于即将进门或出门的时刻,给用户提示路况信息,使其选择最快捷的方式上下班。外出场景中远程监控可在用户上班、旅游期间为其提供随时随地的远程监控视频,让用户放心家庭安全。

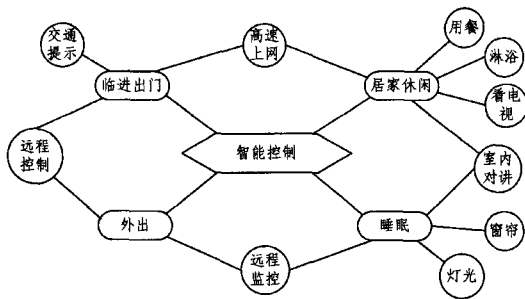


图 1 数字家庭网络业务调度模型

为分析方便,我们假设用户为某一固定的使用者,其具有相对稳定的行为偏好,例如,习惯淋浴后上网学习、用餐后看电视等,但使用这些业务的顺序不是一成不变的,会受时间段、突发事件等因素影响。我们提出的业务调度算法就是在一个时间段内对该用户使用业务进行观察,发现其行为规律,建立模糊逻辑控制规则,推理出和现实接近的场景或下一个业务。该数字家庭业务调度包含两层模糊逻辑推理,当监测到用户正在使用某一业务时,先进行场景确定,将选择范围缩小至 2~5 个业务,以预判下一个业务。用餐、淋浴等业务只会发生在居家休闲的场景中,故不必推理计算所处情况。但

当监测结果是室内对讲或远程遥控等业务时,可能发生在两种或多种情景中,就需要先进行模糊逻辑推理,选择最有可能的所处场景。影响算法做出判断的因素主要取决于用户行为的客观性、业务发生的时间段和用户经常调用当前业务时所处的场景。它们作为模糊逻辑推理的输入量,根据设置的模糊逻辑规则,即可确定用户当前最有可能处于的场景。确定用户所处场景后,进行第二次模糊逻辑推理,预判下一个业务,如图 2 所示。影响预判下一业务的主要因素是业务发生的时间段和用户偏好的下一个业务。在确定时间段和用户偏好后,将输入量模糊化,根据设置的模糊逻辑规则,通过模糊逻辑推理出最有可能的下一个业务。从心理学角度^[16]分析,人在机体处于安逸的状态下,更需要精神辅助。加入情绪控制因素,有利于在一定程度上保证用户使用业务时具有良好的心理状态。当用户心里高兴或平静时,心理状态输入量对算法没有影响;当用户心情低落时,算法就会结合时间段和行为偏好得出能让用户心情愉悦的业务。如当系统发现用户在吃饭时心情低落,就不会调度原本可能进行的上网业务,而是建议用户去淋浴,以此来改善心理状态。

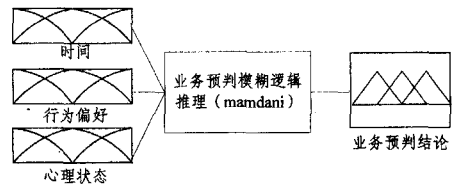


图 2 基于模糊逻辑预判业务的模型

3 基于模糊逻辑的业务调度算法

完成上述业务调度,需要分别设计场景选择算法和业务预判算法。除受控因素不同外,算法原理是相同的,本文以居家休闲场景下的业务预判为例,详细描述业务调度算法,并不再介绍场景选择算法。图 3 显示了数字家庭业务调度系统的模糊推理步骤,包括输入模糊化、模糊规则建立、模糊推理和清晰化输出。

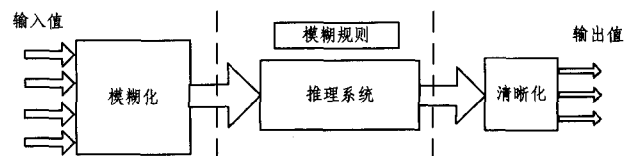


图 3 模糊推理步骤

3.1 输入模糊化

模糊推理的第一步就是通过给每个隶属函数赋值的方式,将用户的行为偏好、所处时间段和心理状态转化成模糊变量集。模糊逻辑采用隶属函数的表示方法,使某一元素对集合 A 的隶属度取值不单是 $u(x)=1$ 或 $u(x)=0$,而是把取值范围扩充到闭合区间 $[0,1]$ 上。隶属函数有多种不同的形状,如三角形、梯形、高斯、Gbell、Sigmoid 型、S 型、Z 型等。使用中,经常根据元素 x 的取值和经验来选取隶属函数的形状。本文根据固定使用者的习惯,将用户在当前某一行为时对下一业务偏好的隶属函数描述为如图 4 所示的高斯分布。横坐标 1~5 分别代表语音对讲(talk)、高速上网(Internet)、用餐(dinner)、淋浴(shower)和看电视(TV) 5 种业务。用户在淋浴后,对一下业务高速上网的偏好是 1,对语音对讲或用餐的

偏好隶属度为 0.5 左右。依此类推,在符合行为规律的前提下,构成了用户的行为偏好分布。所处时间段、心情指数的隶属函数构建不再详述。

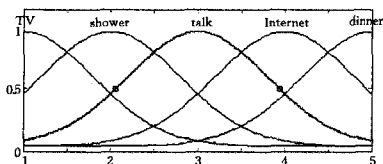


图 4 用户偏好的隶属函数分布

3.2 模糊规则和模糊推理

不同影响因素反映用户不同的业务预判。行为偏好、所处时间段和心情指数对预判业务的影响程度也不同。因此,根据行为偏好、所处时间段设定居家场景中心情平静时的模糊规则表,如表 1 所列。例如,当上午用餐后,紧接着的业务是上网。

表 1 居家场景心情平静时的模糊规则表

| 当前时间段 | 当前业务 | | |
|-------|------|------|------|
| | 上午 | 下午 | 晚上 |
| 用餐 | 上网 | 看电视 | 看电视 |
| 看电视 | 淋浴 | 语音对讲 | 淋浴 |
| 淋浴 | 语音对讲 | 语音对讲 | 语音对讲 |
| 语音对讲 | 上网 | 上网 | 用餐 |
| 上网 | 用餐 | 用餐 | 看电视 |

所增加的心情指数在低落时对模糊逻辑规则起到影响作用,目的并不是更加准确地满足用户的需求,而是在用户心情低落时,提供容易让人精神愉悦的业务,如淋浴、语音对讲等,在一定程度上改善用户的心情,提高用户生活的舒适度。设定的模糊规则表如表 2 所列。

表 2 居家场景心情低落时的模糊规则表

| 当前时间段 | 当前业务 | | |
|-------|------|------|------|
| | 上午 | 下午 | 晚上 |
| 用餐 | 上网 | 淋浴 | 看电视 |
| 看电视 | 淋浴 | 语音对讲 | 淋浴 |
| 淋浴 | 语音对讲 | 语音对讲 | 语音对讲 |
| 语音对讲 | 上网 | 上网 | 淋浴 |
| 上网 | 用餐 | 语音对讲 | 看电视 |

该模糊逻辑推理系统使用“与”、“或”“非”逻辑关系构建语言型模糊逻辑规则,推理系统按照“if $A(a)$ then $U(u)$ ”模型构建的规则进行计算。“if...”部分被称为前提条件,“then...”部分是模糊控制规则的结果。 $R(a, u) = (A \rightarrow U)(a, u)$ 表示集合 A 和集合 U 的模糊蕴含关系,秉承有真值的意义,更深层反映两个集合 $A(a)$ 和 $U(u)$ 之间的模糊相关程度。模糊条件命题真值 $R(a, u)$ 的计算有多种算法,如 Zedeh 算法、Mamdani 算法、Larsen 算法等。我们使用 Mamdani 算法,在 MATLAB 中调整参数,进行仿真实验。Mamdani 算法的基本思想是 $R(a, u) = A(a) \wedge U(u)$ 。这意味着, a 与 u 的关联程度仅取决于简单模糊命题 $A(a)$ 和 $U(u)$ 中真值(隶属度)较小者。这符合人的思维习惯,因为 $A(a)$ 和 $U(u)$ “合取”时,其中小者起着重要的作用,保证了命题成立的最基本条件,就像一个由木条箍成的水桶,盛水的多少只取决于最短的箍桶木条。

3.3 清晰化输出

经过模糊逻辑推理后,输出的是模糊集合,由于它是多条模糊控制规则所得结论的综合,其隶属函数多数是分段的、不规则的形状。清晰化的目的就是要把它们等效成一个清晰值,

以代表预判不同业务的模糊集合。清晰化方法要具有连续性和代表性,常用的有面积平分法、面积中心法和最大隶属度法。由于最大隶属度法具有直观合理和计算方便的优点,即采用最大隶属度平均值法(MOM)。如果在模糊集合的论域上,有多个点都取最大隶属度值,则取这些点的平均值 u_{mom} 的横坐标作为模糊集合的代表点,即为最大隶属度平均值法。设 $A(u_j) = \max(A(u))$, $j = 1, \dots, 5$ 是对用户预判出的 5 种不同业务的隶属度,这 5 种预判业务的隶属度都取最大值,则取

$$u_{mom} = \frac{\sum_{j=1}^5 u_j}{5} \quad (1)$$

它代表用户最有可能使用的下一个业务。

4 仿真结果及分析

每种情景下业务的调度方式相同,以居家休闲场景为例进行仿真,将提出的算法和最大最小公平调度算法进行对比。后者预判业务的准则一般是在保证对最不可能使用的业务有一定调度机会的同时,按照用户偏好程度的不同对各业务进行最大最小公平调度。但提出的算法除了用户偏好以外,还加入业务发生时间段、心理状态因素,综合得出用户最有可能使用的下一个业务。最大最小公平调度还可以按照不同的业务权重值进行预判,这涉及到优先级、时延要求等因素。本文主要从用户偏好角度来调度业务,而不考虑其它因素。

数字家庭居家休闲场景中用户偏好通过业务使用记录进行分析,使用次数最多的表明是最习惯调用的业务。目前我们没有真实的数字家庭环境数据,因此对业务使用记录进行模拟。设定历史使用记录个数为 300,由 $[1, 5]$ 之间的正态分布随机数产生,分别代表 5 种业务。当设定方差为 0.7,均值为 3 时,即表示用户偏向于使用第 3 种业务,对其他业务的偏好成方差 0.7 分布。使用其他业务时,分析、测试的数据源产生方法类似。业务使用记录以 5 个记录为步数,由少逐渐增多。每经过 1 次模糊逻辑推理,与测试数据中调用的业务进行比照,若相同,则记为匹配成功。经过 1000 次独立的程序运行,累加成功匹配次数,得到不同历史记录个数时的平均成功匹配率。提出的算法和最大最小公平调度算法对应的成功匹配率如图 5 所示。

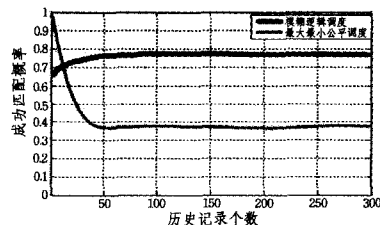


图 5 提出的算法与最大最小公平调度算法比较

从图 5 可以看出,提出的算法成功匹配率随使用记录个数的增加而增加,当个数为 1 时,成功匹配率为 0.66,在 50 个使用记录时开始稳定在 0.78 左右。这是因为根据模糊逻辑规则设定,即使在不清楚用户行为偏好的情况下,也可根据用户行为制定出模糊规则,这在一定程度上保证了预判的成功率。而最大最小公平调度算法的成功匹配率随使用记录个数增加而减小,个数为 1 时成功匹配率为 1,在 50 个使用记录时开始稳定在 0.38 左右。原因是当历史记录个数只有一个时,无法分析用户的行为偏好,按照最大最小原则只能调度

仅知道的一种业务,成功匹配率必然为1。但随着历史记录个数增加,最大最小公平算法按照与用户对业务偏好程度相同的正态随机分布调度业务,故在50个记录后趋于稳定。虽然在历史记录少时,最大最小公平调度具有一定优势,但从长期使用数字家庭业务的角度看不足以证明其有效性。当采用比例公平、轮询调度等算法时,由于缺乏对已知数据的全面分析,不能结合用户的实际使用情况,因此成功匹配率均明显低于提出的算法。

在用户使用业务的时间段和心理状态都稳定时,改变影响用户偏好的历史使用记录,使其成正态随机分布,方差分别是0.4、0.7和1.0。提出的算法在不同程度用户偏好情况下的成功匹配率如图6所示。

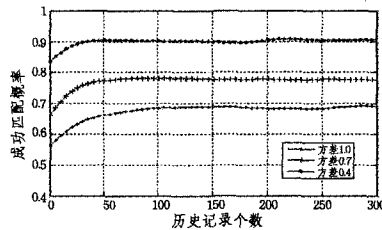


图6 不同程度用户偏好对应的成功匹配率

从图6可以看出,用户使用偏好越明显,提出的算法成功匹配率越高。这是因为,用户使用同一业务次数越多,对该业务的偏好越明显,根据模糊逻辑分析预判业务的准确度就越高。方差为1.0的行为偏好在100个历史记录时成功匹配率稳定,而方差为0.4的行为偏好在25个历史记录时成功匹配率就稳定。由此可见,当行为偏好越明显,提出的算法推理速度就越快。

业务使用时间段对预判业务的影响如图7所示。由于实际应用中用户会在不同时间段对业务的偏好发生一定的变化,如果不考虑时间段对行为偏好的影响,就会导致成功匹配率有所降低。对不同程度的行为偏好,时间段确定与否的成功匹配率差值不同。

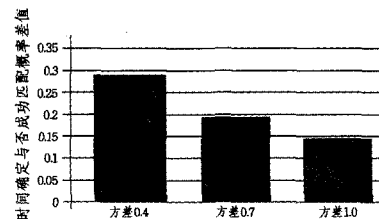


图7 业务使用时间段对预判业务的影响

当用户偏好的方差为1.0时,成功匹配率差值是0.15;当用户偏好的方差为0.4时,成功匹配率差值为0.3左右。这是因为偏好不够突出时,无法根据模糊规则准确预判同当前时间段的偏好业务,导致预判业务准确度降低。

用户心理状态可能会一定程度降低预判业务的成功匹配率。用户在家庭环境中,在意的是它是否满意系统为其调度的业务,而不一定很在意系统调用业务的准确性。图8所示是心理状态对预判业务的影响。业务3、4是相对能够改善用户心情的业务,如淋浴、看电视等。输入的数据经过模糊逻辑推理得出用户心情好或平静时,可按照原有的算法预判业务。一旦输入的数据显示用户的心情低落时,就按照模糊逻辑规则设定,侧重调度业务3或者业务4,在此基础上再综合考虑用户偏好和业务使用的时间段,得出符合用户需求的下一个

业务。可见,加入心理状态因素,能够一定程度地保证用户家里的良好心情。

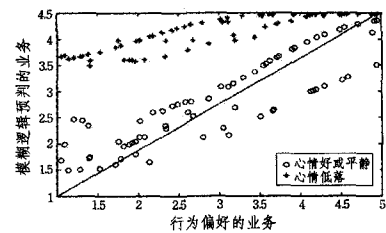


图8 心理状态对预判业务的影响

提出的算法与直接预判业务的算法相比,成功匹配率高很多,如图9所示。提出的算法从50个使用记录开始,成功匹配率稳定在0.68,而直接预判业务的算法要在70个使用记录时,成功匹配率才有所稳定。由此可见,提出的算法更能够适应复杂多变的数字家庭环境,为用户提供快捷、舒适的数字家庭业务调度。

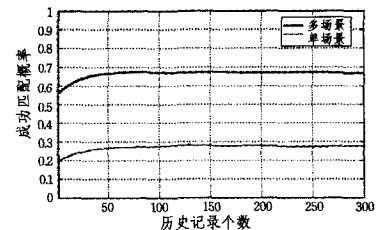


图9 提出的算法与直接预判业务的算法成功匹配率比较

结束语 本文提出了一种基于用户偏好和模糊逻辑的数字家庭业务智能调度算法。将提出的算法和最大最小公平调度等经典算法进行了比较,还比较了提出的算法和直接预判业务的算法的匹配成功率。结果表明,提出的算法具有更高的成功匹配率,更适应个性化的数字家庭环境。

参考文献

- [1] 王颖. 中国数字家庭发展研究报告 [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2009
- [2] 敖立. 家庭网络标准及其研究计划 [J]. 中兴通信技术, 2006 (4): 56-58
- [3] 魏巍. 一种家庭信息安全认证方法及装置: 中国 [P]. 201110 025608. 6, 2011. 6. 1, <http://www.sipo.gov.cn/zljs/>
- [4] Yang S, Zhang X, Zhong C. Improvement for real-time performance in Bluetooth home control network [C] // Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, 2009. Changchun, IEEE, 2009: 1752-1756
- [5] <http://www.haierhome.com/index-cn.asp>
- [6] Zadeh L A. Fuzzy sets as a basis for theory of possibility [J]. Fuzzy Set Systems, 1978, 3(28): 378-384
- [7] Sugeno M. Theory of fuzzy integrals and its applications [D]. Tokyo: Tokyo Institute of Technology, 1974
- [8] Shafer G. A mathematical theory of evidence [M]. Princeton: Princeton University Press, 1976
- [9] Adlassing K P. Fuzzy set theory in medical diagnosis [J]. IEEE Transactions On System, Man, and Cybernetics, 1986, 3(7): 260-265
- [10] Mason D, Linkens D, Rdwards N. Self-learning fuzzy logic control in medicine [C] // Lecture Notes in Artificial Intelligence, 1997. Germany, Springer, 1997: 300-303

(下转第93页)

例,即 $\alpha < 1-p$ 时,随着 N 的增加, $P(Q)$ 逐渐提高,趋向于 100%, α 取值越小, $P(Q)$ 越快地趋于 100%; 相反地,在图 2 (b) 中,当 $\alpha > 1-p$ 时,随着 N 的增加, $P(Q)$ 逐渐降低,并逐渐趋向于 0%,且 α 取值越大, $P(Q)$ 越快地趋于 0; 当 $\alpha = 1-p$ 时,随着查询量 N 的增加,查询执行成功率 $P(Q)$ 保持在 0.5 以上,呈一条光滑的曲线。

该组实验结果表明,用户期望度越低,查询请求被拒绝的可能性就越低,所以能够获得较高的查询执行成功率;相反,期望度越高,查询操作越容易拒绝;期望度越接近合法数据所占比例,查询执行成功率的变化趋势越平缓。

(3) 当 $|DB| = 5000, N = 2000$ 时,以 X 为自变量 ($500 \leq X < 5000$), 随着 X 的变化,查询执行成功率 $P(Q)$ 的变化如图 3 所示。

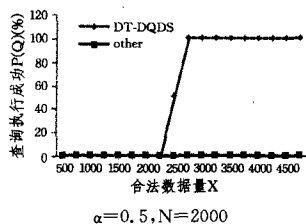


图 3 合法数据量 X 为自变量时的查询执行成功率 $P(Q)$

由图 3 可知,当合法数据量 X 逐渐增大时,查询执行成功率由 0% 上升至 100%。这是由于在 DT-DQDS 服务机制下,当用户期望完整度确定时,若数据库系统中合法数据量越大,数据损坏率就越小,所以查询到合法数据的几率增大,综合导致最后的查询执行成功率增长。

综合上述 3 组实验可知,在实验设置的可变因素下,DT-DQDS 查询降级服务机制与传统的可生存性环境中的查询服务机制相比,具有更好的查询性能。在一定用户定义期望完整度阈值下,DT-DQDS 降级服务仍能够为用户提供数据查询服务,在保证数据准确性的基础上,数据请求的完整性也得到了提高,相比传统查询机制 0% 的查询执行成功率,DT-DQDS 能维持一定比例的近 100% 的查询执行成功率,很大程度上提高了数据的可用度和用户的满意度。

结束语 为了解决现有可生存性数据库中查询机制带来的数据可用性低的问题,本文提出了一种损坏容忍的降级服务模型 DT-DQDS。首先给出了 DT-DQDS 的定义和服务规则 DQSR,并根据服务规则 DQSR,给出了基于该模型的查询服务机制的核心算法。其思想是通过 DQSR 规则进行判断,以决定是否返回用户部分合法的数据集合,即降级的查询结果。该机制避免了系统对于包含损坏数据查询访问的完全拒绝,从而实现了系统数据可用性的提高,提高了用户的查询服务体验。实验结果表明,DT-DQDS 服务机制相比现有的数

据查询服务机制,当用户设置的期望度阈值小于系统合法数据的比例时,DT-DQDS 机制下的查询操作成功率将大幅提高,获得趋近 100% 的执行成功率(而传统查询机制执行成功率仅为 0%),其系统可用性也得到显著提高。所以 DT-DQDS 机制在入侵发生后能够提供更好的数据查询服务。

参考文献

- [1] Bertino E, Sandhu R. Database security-concepts, approaches, and challenges [J]. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, 2005, 2(1): 2-19
- [2] 刘启原, 刘怡. 数据库与信息系统的的核心 [M]. 北京: 科学出版社, 2000
- [3] 张敏, 徐震, 冯登国. 数据库安全 [M]. 北京: 科学出版社, 2005
- [4] Knight J C, Sullivan K J, Elder M C, et al. Survivability architectures: Issues and approaches [C]// DARPA Information Survivability Conference and Exposition, 2000 DISCEX '00 Proceedings. 2000: 157-171
- [5] Ammann P, Jajodia S, McCollum C D, et al. Surviving information warfare attacks on databases [C]// Security and Privacy, 1997 Proceedings of IEEE Symposium on. 1997: 164-174
- [6] Bai K, Liu P. A data damage tracking quarantine and recovery (DTQR) scheme for mission-critical database systems [C]// Proceedings of the 12th International Conference on Extending Database Technology: Advances in Database Technology. ACM, Saint Petersburg, Russia, 2009: 720-731
- [7] Bai K, Yu M, Liu P. Trace: Zero-down-time database damage tracking, quarantine, and cleansing with negligible run-time overhead [C]// Proceedings of the 13th European Symposium on Research in Computer Security. Computer Security. Springer-Verlag, Málaga, Spain, 2008: 161-176
- [8] Liu P, Jajodia S. Multi-phase damage confinement in database systems for intrusion tolerance [C]// Computer Security Foundations Workshop, 2001. Proceedings. 14th IEEE, 2001: 191-205
- [9] Bai K, Liu P. Towards database firewall: Mining the damage spreading patterns [C]// Computer Security Applications Conference, ACSAC '06 22nd Annual. 2006: 449-462
- [10] 戴华, 秦小麟, 郑吉平. 基于 CTMO 模型的数据库损坏数据隔离技术 [J]. 计算机学报, 2011, 34(2): 275-290
- [11] 谢美意, 朱虹, 冯玉才, 等. 自修复数据库系统设计实现关键问题研究 [J]. 小型微型计算机系统, 2010(10): 1926-1930
- [12] 付戈, 时杰, 李专, 等. 一种有效的受损数据隔离方法 [J]. 计算机科学与探索, 2010(8): 712-722
- [13] Dai H, Qin X, Zheng G, et al. SQRM: An Effective Solution to Suspicious Users in Database [C]// Proceedings of 3rd International Conference on Advances in Databases, Knowledge, and Data Applications. 2011: 59-64
- [14] density [J]. Probabilistic Networks and Expert Systems, 1999, 172(35): 163-178
- [15] Er M J. Genetic algorithms for MLP neural network parameters optimization [C]// Proceedings of the Chinese Control and Decision Conference, 2009. Guilin, IEEE, 2009: 3653-3658
- [16] Burges C. A tutorial on SVM for pattern recognition [J]. Data Mining and Knowledge Discovery, 1998, 10(2): 121-167
- [17] Plutchik R, Kellerman H. A general psychoevolutionary theory of emotion [J]. Theories of Emotion, 1980, 1(3): 3-33
- [11] Lalande A, Legrand L, Walker P M, et al. Automatic detection of cardiac contours on MR images using fuzzy logic and dynamic programming [C]// Proceedings of the AMIA Annual Fall Symposium, 1997. Nashville, AMIA, 1997: 474-478
- [12] Zahlmann G, Scherf M, Wegner A. A neuro fuzzy classifier for a knowledge-based glaucoma monitor [C]// Lecture Notes in Artificial Intelligence, 1997. Germany, Springer, 1997: 273-287
- [13] Cowell R, Dawid A, Lauritzen S, et al. Psychologic pharmacokinetics model based on Bayes network with optimal of kernel

(上接第 66 页)