

物联网需求驱动的服务组合方法^{*}

张 婷¹, 张 鑫², 刘志都¹

(1. 南阳师范学院 计算机与信息技术学院, 河南 南阳 473000; 2. 南阳理工学院 软件学院, 河南 南阳 473000)

摘 要: 为实现依据用户需求动态地组合原子服务, 形成服务集合, 提出一种基于本体的服务组合方法。首先对物联网服务进行多视图建模, 使用服务交互模型描述服务与物理实体的交互过程, 服务功能模型刻画物理世界中服务的属性和行为, 服务状态模型表示服务引起的期望状态变化, 并采用扩展的 OWL 描述面向物理对象的服务。同时, 采用多维 QoS 模型对用户的需求进行建模, 使用语义的方法进行服务的匹配与组合, 并基于 QoS 选择满足约束的服务。最后, 通过案例研究和实验验证了所提方法的正确性和有效性。

关键词: 物联网; 需求驱动; 自动服务组合

中图分类号: TP393

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2013)06-1756-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2013.06.040

Requirement-driven service composition approach for Internet of things

ZHANG Ting¹, ZHANG Xin², LIU Zhi-du¹

(1. College of Computer & Information Technology, Nanyang Normal University, Nanyang Henan 473000, China; 2. School of Software, Nanyang Institute of Technology, Nanyang Henan 473000, China)

Abstract: According to the desiderata of users, this paper proposed the service combination approach based on ontology to combine atomic services dynamically and form service set. Firstly, it introduced the multi-view modeling of IOT. It described interactions between service and physical entity by interaction model. It depicted service attributes and behaviors in physical world by function model. It represented expectations state conversions caused by service with state model. It expanded the OWL description for physical objects service. Secondly, it adopted QoS multidimensional model for the modeling of requirement. Service matching and combination employed semantic approach. The appropriate composition service that satisfied the user's constraints could be selected from service set on the basis of QoS set. Finally, it gave a study case and simulation experiment to verify the correctness and effectiveness of the proposed method.

Key words: Internet of things; requirement-driven; automated service composition

物联网可通过射频识别(RFID)、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等信息传感设备,按约定的协议,把任何物品与互联网连接起来,进行信息交换和通信,以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理^[1]。物联网的价值体现在服务与应用上,可面向应用,提供高效、可靠和丰富的服务^[2]。物联网的一个重要研究方向就是需求驱动的物联网服务组合。即根据用户提出的需求,动态地将各设备上的原子服务组合为满足要求的服务,以实现服务的智能化组合。

1 基于 SOA 的物联网服务架构

物联网应用关注提供服务的通用平台的建立,可开发出个性化应用业务。为高速生成和定制业务,考虑将物联网业务分为原子业务,在通用平台之上对原子业务进行组合,以满足应用需求。同时,在物联网的条件下,因特网上原有的资源与新出现的资源已经或者正以服务的形式存在^[3]。

文献[4~6]分别对 SOA 进行了描述。SOA 具有以下关键特性^[7]:属于服务模型,可对服务进行设计、开发、部署和管理;服务架构具有粗粒度、低耦合的特性,不涉及底层编程接口和通信模型。考虑物联网的应用目标,并结合 SOA 关键特性,

提出基于 SOA 的物联网服务架构,如图 1 所示。

1) 设备 属于物理设备,是利用 RFID 技术的传感节点。可以对相关物理信息进行存储,还可以作为服务提供者或生产者。

2) 数据处理平台 收集传感节点的数据,负责数据信息的安全验证,并使用 XML 和元数据技术对异构数据进行一致性和标准化处理。

3) 安全平台 有两个安全平台,对设备和数据的访问安全负责,并提供服务访问安全,针对数据安全、用户身份和访问控制进行管理。

4) 服务层 分为服务模型、组合服务层和服务传输三层^[8]。在服务模型层中,可根据客户需求发现或查找对应的服务;可对底层数据进行筛选和挖掘;相互调用时需要协作的传感节点服务;可对操作的权限、间隔时间等进行配置;对活动节点进行监控等。组合服务层可对原子服务依据 QoS (quality of service) 度量进行服务组合,满足客户需求。在服务传输层中,将服务模型层定义好的服务或组合服务层生成的组合服务传输到终端用户层,供应用服务器运作。

5) 终端用户层 作为服务消费者由不同的客户端的访问

收稿日期: 2012-09-12; **修回日期:** 2012-11-04 **基金项目:** 河南省重点攻关项目(102102210388,112102210408);河南省基础与前沿技术研究计划项目(112300410118)

作者简介: 张婷(1985-),女,河南南阳人,助教,硕士,主要研究方向为软件工程、信息化建模仿真(yunshu_135@163.com);张鑫(1985-),男,河北石家庄人,助教,硕士,主要研究方向为网络与信息安全;刘志都(1957-),男,河南南阳人,教授,主要研究方向为软件工程、计算机应用。

应用程序发出服务请求。

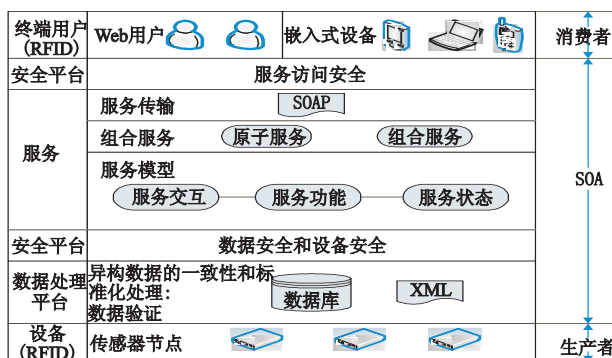


图1 基于SOA的物联网应用基础架构

2 物联网服务建模

如图2所示,物联网服务模型是一个多视图模型。其中,服务交互模型描述服务一生产者一消费者间的关联;服务功能模型描述服务的行为,即需要完成的任务及服务对象;服务状态模型描述服务的状态转换,包括服务活动与动作。

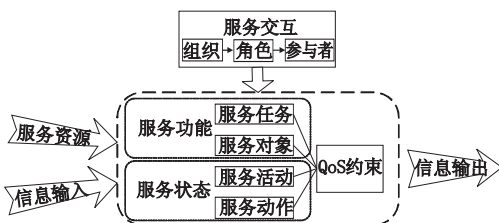


图2 物联网服务模型

服务 Ser 可表示为一个三元组 $\langle Beh, Attr, Func \rangle$ 。

定义1 服务资源 Res 用一个三元组来表示: $Res = \langle Attr, Ran, f \rangle$ [9]。Attr 是资源的属性集合,资源的属性分为静态属性 $SAttr$ 和动态属性 $DAttr$, $Attr = SAttr \cup DAttr = \{a_1, \dots, a_n\}$; Ran 是资源的属性值集合,资源属性值分为静态属性值 $SRan$ 和动态属性值 $DRan$, $Ran = SRan \cup DRan = \{v_1, \dots, v_m\}$; $f: Attr \rightarrow P(Ran)$, 是资源的属性到其值域上的映射,可以用表示权重的归一化向量表示, $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]$, 其中 $w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1$ 。由于该映射 f 描述的不是线性对应,采用中间对称型高斯隶属度函数实现属性映射的模糊量化。

定义2 对服务资源的动态属性 $DAttr = (d_1, d_2, \dots, d_n)$, 在给定一个服务活动顺序时均可构成一个向量 $ValueofDAttr = (val_1, val_2, \dots, val_n)$ 。动态属性的取值 val_i 为资源 r 在具体时刻 t 动态属性 d_i 状态的取值。服务状态是资源动态属性向量的一组有效取值。

定义3 服务动作 Beh 用一个三元组来表示: $Beh = \langle Res, Perr, Postr \rangle$ [10]。其中: Res 是服务资源; $Perr$ 和 $Postr$ 分别表示服务动作前 Res 的状态和服务动作后 Res 的状态。

定义4 服务功能 $Func$ 用一个二元组表示: $Func = \langle CRes, CondofBeh \rangle$ 。其中: $CRes$ 为该功能将操作的资源集合, $CondofBeh: Beh \rightarrow P(Cond)$ 为条件函数。

2.1 面向物理对象的服务扩展

将 SOA 应用于物联网,用服务描述设备提供的功能,有助于其他物理对象发现和调用相应的服务,从而实现信息的共享与协作。如表1所示,物联网服务与传统 Web 服务存在一定差异[11],不能直接将 Web 服务标准用于物理设备。

故描述物理对象提供的服务时,需要扩展 Web 服务描述模型,采用 OWL-S (Web ontology language for service) 来描述业

务组合的语义,但具体服务的完成还依赖 WSDL 指向具体程序。如图3所示,对 WSDL 的 Web 服务描述模型进行了扩展,引入了如下组件:

a) Attribute 类用于描述服务的属性。其中: $name$ 表示属性名称; $type$ 定义属性的类别,该类具有功能属性即 $FuctionAttr$ (包括操作对象)、 QoS 属性即 $QualityAttr$ (包括响应时间、可用性、可靠性等)两类属性; $value$ 指定属性特征的具体内容。

b) Resource 类用于描述服务属性使用的资源。其中: $name$ 表示资源的名称; $type$ 指定度量单位; $value$ 表示某个物理特性的取值。

表1 物联网服务与 Web 服务的区别

项目	物联网服务	Web 服务
服务描述的对象	与物理世界关联的嵌入式设备提供的功能和传感信息	虚拟实体
服务资源	计算能力、通信能力和存储容量受限的设备上	服务资源不受限。有局域网和各种资源库
服务环境	动态变化。设备提供的服务会随设备的消失或出现而变化	静态的,可长期存在

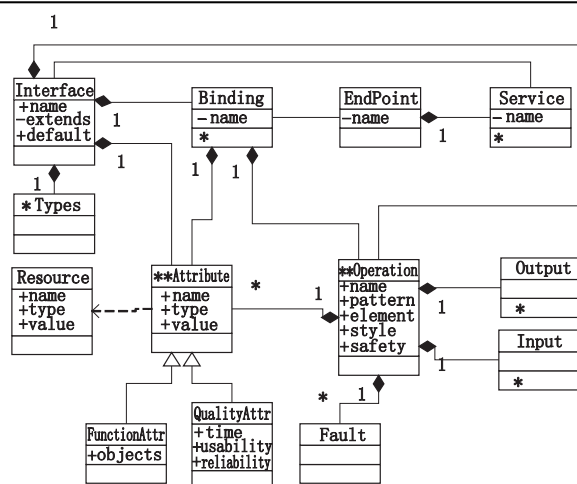


图3 扩展的物联网服务模型

2.2 用户需求描述

定义5 用户需求模型 Req 用一个五元组 $\langle Obj, Attr, Relat, Cri \rangle$ 表示。其中:

$Obj = \langle AObj, DObj, SR \rangle$ 。AObj (atomic object) 是由原子服务所对应的用例对象; DObj (description object) 是用户描述的需求节点,没有原子服务与其对应; $SR = \{ Same, Opposite, Part, Specific \}$ 表示 AObj 与 DObj 之间的关系 (同义,反义,整体与部分,一般与特殊)。

$Attr = FuctionAttr \cup QualityAttr$ 。Attr 用于描述服务的属性,具有功能属性 $FuctionAttr$ 和 QoS 属性 $QualityAttr$ [12] 两类属性。

$Relat = \{ Sequence, Parallel, Selection, Loop \}$, 该集合中的每个元素代表节点间的各种关系 (顺序,并行,选择,循环)。

$Cir = \{ Criteria relationship \}$ 是用户需求的 Obj 间约束关系。

3 需求驱动的服务组合

随着服务数量持续增长,服务运行环境又体现出明显的动态特性,因而服务组合的自动化变得极为关键[13]。如图4所示,在物联网中,采用服务发现与组合实现用户动态信息的整合处理,并支持 QoS 指标,通过语义的方法进行需求驱动的服务组合,使其满足用户的需要。

用户需求驱动的服务组合方法 $CompSer$ 描述如下:

Procedure $CompSer //$ 服务匹配,形成候选服务集

```

STset ← SerSet; // 初始化临时服务集 STset, SerSet 为服务集
for each  $s_i$  in STset do {
    //  $s_i$  为原子服务, 由一个三元组  $(sb_i, sa_i, sf_i)$  表示
    SDiset ← ∅; // 清空候选服务集合
    while ( $s_i \neq \emptyset$ ) do {
        // * 与用户的需求 req 相匹配, 即服务的属性  $sa_i$  实现语义匹配, 所需资源  $sb_{i1}$  能被满足, 条件函数  $sf_{i3}$  能被满足 */
        if (Match( $s_i$ , req))
            SDiset = SDiset ∪ { $s_i$ }; // 匹配成功, 服务加入到 SDiset 中
            STset = STset - { $s_i$ }; // 将服务从服务集中删去
    }
    if (SDiset == ∅)
        return failure; // 候选集为空, 则匹配失败
}
Sset ← ∅; // 清空组合服务集合
for each SDiset do {
     $t_i$  = OptimalS(SDiset);
    // 根据用户的 QoS 需求, 选择综合 QoS 最高的服务
    Siset = Siset ∪ { $t_i$ }; // 加入组合服务集
}
return Sset;
}

```

若选择服务时, 出现 QoS 评价相同的服务, 则选取占用资源较少的服务; 若服务的这两项都相同, 则随机选取一个服务进行组合。

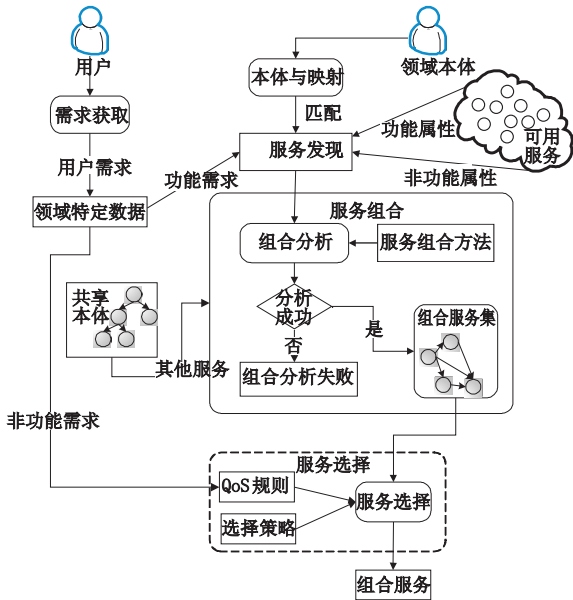


图4 需求驱动的服务组合过程

3.1 服务匹配方法

服务相似度计算是以概念间语义相似度为基础^[14]的。本文借鉴概念间语义相似度思想, 给出服务相似度计算式。

定义 6 服务相似度 sim 用一个二元组 $\langle R, D \rangle$ 表示^[15]。

$$\text{语义距离为 } \text{dis}(R, D) = \frac{\min_{i=1}^{\text{Length}(R, D)} \text{weight}(i)}{T}$$

$$\text{密度因子为 } \text{density}(R, D) = \frac{T}{\text{sibling}(R) + \text{sibling}(D) + T}$$

$$\text{sim}(R, D) = \alpha \times \frac{\lambda}{\text{dis}(R, D) + \lambda} + \beta \times \text{density}(R, D)$$

其中: $\text{weight}(i)$ 来源于用户需求模型中的 SR 的权值, $\alpha + \beta = 1$ 。

服务匹配方法 Match 的描述如下:

Procedure Match // 原子服务是否与用户的需求 req 相匹配

```

domain ← c; // 设置语义相似度的阈值 domain
get req from user
// req 为用户的需求, 由四元组 (obj, attr, relat, cri) 表示
//  $s_i$  为原子服务, 由一个三元组  $(sb_i, sa_i, sf_i)$  表示
dis = dis(req2, s12); // 计算语义距离
den = density(req2, s12); // 计算密度因子
 $\alpha \leftarrow x$ ;  $\beta \leftarrow y$ ; // 为  $\alpha$  和  $\beta$  赋值
sim = sim(req, si); // 计算语义相似度 sim
if (sim ≥ domain) { // 属性实现语义匹配
    if (req2 ≤ sbi1 && req4 ≥ sfi3)
        // 所需资源 sbi1 能被满足, 且条件函数 sfi3 能被满足
        return true;
}
else
    return false;
}

```

3.2 服务选择的 QoS 规则

本文从消费者的角度考虑 QoS, 将 QoS 建立为多维模型, 包含服务性能相关的属性, 如执行时间 (time)、费用 (cost)、信誉度 (reputation)、可靠性 (reliability)、可用性 (availability)^[16]。QoS 度量的组合规则可以描述为子结构 QoS 的函数, 称为 QoS 组合函数, QoS 组合函数具有结构相关性^[17]。设 Cs (composite service) 是组合服务的 QoS, $Cs = \langle T, C, Re, R, A \rangle$, Ps_i (proto service) 为第 i 个原子服务的 QoS, $Ps_i = \langle T_i, C_i, Re_i, R_i, A_i \rangle$ 。采用文献[18]中对顺序、并行、选择和循环结构的 QoS 组合规则。在多维 QoS 模型下, 满足组合服务综合质量的组合服务选择问题可以建模为多目标优化问题。设定用户约束为 $\text{Cons} = \langle \text{cons}^{(T)}, \text{cons}^{(C)}, \text{cons}^{(Re)}, \text{cons}^{(R)}, \text{cons}^{(A)} \rangle$, 则基于用户约束的组合服务选择问题是寻找组合方案 p , 使得

$$\max F(p), p. s. t. \begin{cases} QoS^{(T)} \leq \text{cons}^{(T)} \\ QoS^{(C)} \leq \text{cons}^{(C)} \\ QoS^{(Re)} \leq \text{cons}^{(Re)} \\ QoS^{(R)} \leq \text{cons}^{(R)} \\ QoS^{(A)} \leq \text{cons}^{(A)} \end{cases}$$

4 案例研究与实验分析

4.1 案例研究

本节以物流企业的中转发货 (内部公司从其他地方运来的货物还需要经过合作公司继续运输的部分) 为例, 说明如何按照用户需求进行物联网服务组合。中转发货的流程如图 5 所示。在中转发货中, 资源 $\text{Res} = \{\text{waybill}, \text{entrustment}, \text{transport}, \text{assignment}, \text{dispatchlist}\}$ 。五类服务: 运输委托服务 S I、托运服务 S II、仓库管理服务 S III、运输委托书管理 S IV 和托运单管理 S V。其服务动作和服务状态如表 2 和 3 所示。

服务的静态属性 $\text{SAttr} = \{\text{convenience}, \text{timeliness}, \text{response}, \text{quality}, \text{complaints}\}$ 。

用户请求 Req 为一个五元组 $\langle \text{Obj}, \text{Attr}, \text{Relat}, \text{Cri} \rangle$ 。

$\text{Obj} = \{\text{waybill}, \text{entrustment}, \text{transport}, \text{assignment}, \text{dispatchlist}\}$;

$\text{Attr} = \{(\text{waybill}, t \leq 2.5), (\text{entrustment}, a > 0.2), (\text{transport}, re > 1), (\text{assignment}, c < 4), (\text{dispatchlist}, r > 0.1)\}$;

$\text{Relat} = \{\text{sq}\{(\text{entrustment} \rightarrow \text{transport}), (\text{transport} \rightarrow \text{assignment}), (\text{assignment} \rightarrow \text{dispatchlist})\}, \text{pa}\{(\text{waybill} \rightarrow \langle \text{entrustment}, \text{transport} \rangle)\}, \text{sl}\{\emptyset\}, \text{loop}\{\emptyset\}\}$;

$Cir = \{ waybill \text{ is not null} \}$ 。

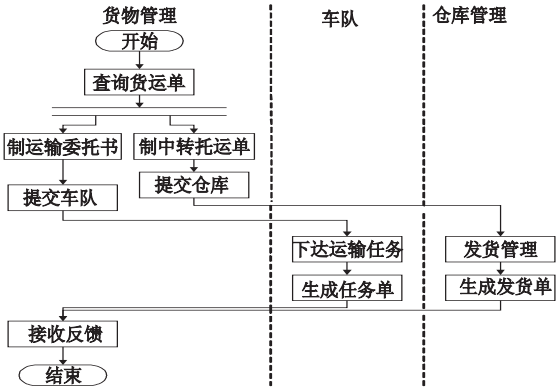


图5 中转发货流程

表 2 服务动作

	Res	Perr	Postr
S I	waybill	without entrustment	entrustment
S II	waybill	transport	assignment
S III	transport	without dispatchlist	dispatchlist
S IV	entrustment	waybill	assignment
S V	transport	waybill	dispatchlist

表 3 服务状态

	CRes	CondoBeh
S I	entrustment	create entrustment transport
S II	transport	create assignment
S III	dispatchlist	create dispatchlist
S IV	waybill	sign entrustment
S V	waybill	sign transport

使用服务匹配方法 Match 后形成的候选服务集合如表 4 所示,有 5 类,共 10 个,QoS 值随机生成。结合 QoS 组合规则,计算出八种服务组合方案的 QoS 值如图 6 所示。

表 4 候选服务的 QoS 矩阵

服务	$QoS^{(T)}$	$QoS^{(C)}$	$QoS^{(Re)}$	$QoS^{(R)}$	$QoS^{(A)}$
S I ₁	1/3	2	4/3	1/5	7/3
S II ₁	1	3/4	4	5/3	5/4
S III ₁	1/4	3/5	1	5/4	1
S IV ₁	8/7	4/7	4/5	1	1/5
S V ₁	1/5	1/3	4/7	5/7	2
S I ₂	1/4	3/4	4/5	1	4/7
S II ₂	3/5	7/4	1	7/3	7/5
S III ₂	1/7	4/5	5/4	4/3	2/7
S IV ₂	2	4/3	1	1/4	5/7
S V ₂	1/5	1	4/7	4/3	4/5

使用服务组合方法 CompSer 后形成的候选服务组合方案如表 5 所示。根据用户的 QoS 约束: $t \leq 2.5$ 且 $a > 0.2$ 且 $re > 1$ 且 $c < 4$ 且 $r > 0.1$,依据服务的 QoS 选择规则,组合方案应为方案 1 或 2。

表 5 候选服务组合方案

方案	运输委托	托运	仓库管理	运输委托书管理	托运单管理
1	S I ₁	S II ₁	S III ₁	S IV ₁	S V ₁
2	S I ₁	S II ₁	S III ₂	S IV ₁	S V ₁
3	S I ₂	S II ₂	S III ₁	S IV ₁	S V ₁
4	S I ₂	S II ₂	S III ₂	S IV ₁	S V ₁
5	S I ₁	S II ₁	S III ₁	S IV ₂	S V ₂
6	S I ₁	S II ₁	S III ₂	S IV ₂	S V ₂
7	S I ₂	S II ₂	S III ₁	S IV ₂	S V ₂
8	S I ₂	S II ₂	S III ₂	S IV ₂	S V ₂

4.2 实验分析

1) 服务组合效率与成功率 运输类货运企业物流信息系统中,在服务总数为 200、400、600、800、1 000 的五个数据集上,对用户的 100 个随机服务请求进行服务组合,平均组合时间和服务组合成功率如图 7 所示。

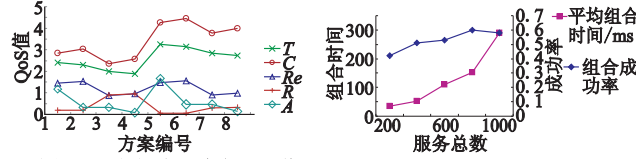


图6 服务组合方案的QoS值

图7 服务组合效率与成功率

服务的组合成功率会随着服务总数的增多呈现上升趋势,说明候选服务增多的情况下,可较好地满足各种用户需求。服务的平均组合时间会随着服务总数的增多呈出现激增的现象,这是由于服务集增大后,其中的原子服务增多,语义匹配过程的开销增大。

2) 服务组合质量 运输类货运企业物流信息系统中,分别在服务总数为 200、600、1000 的数据集上随机产生服务请求。在服务请求为 10、20、30、40、50、60、70、80、90、100 时,得到的平均服务组合满意度如图 8 所示。

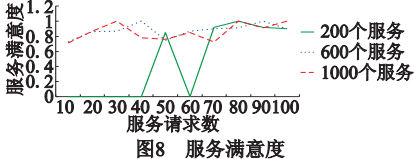


图8 服务满意度

在服务总数为 200 个时,由于原子服务和候选的服务集较小,可能会出现某些用户需求无法满足的情况,服务满意度不稳定。但在服务总数为 600 与 1 000 时,服务满意度在区间 [0.8, 1],比较稳定。

5 结束语

为了获得广泛的认可,在设计基于 QoS 的物联网服务发现与组合方法时必须考虑到的因素有动态性、自动化组合、层次性和技术的灵活性^[19]。按照用户的需求对封装特定功能的现有服务进行动态发现、组装和管理,实现了动态性;可自动化发现和选择服务,实现了组合过程的自动化;对服务进行粒度划分,通过重用和组合原子服务来生成大粒度的服务,具有层次性;在 OWL 的基础上,对物理对象的服务进行扩展,具备一定的技术灵活性。在运输类货运企业物流信息系统中的实验表明,在候选服务增多的情况下,本文方法可较好地满足各种用户需求,服务满意度也比较稳定。

参考文献:

[1] ITU. The Internet of things[EB/OL]. (2005-11-02). [http://www.itu.int/osg/internetofthings/Internet of Things summary. pdf](http://www.itu.int/osg/internetofthings/Internet%20of%20Things%20summary.pdf).
[2] 孙其博,刘杰,黎彝,等. 物联网:概念、架构与关键技术研究综述[J]. 北京邮电大学学报,2010,33(3):1-9.
[3] 茅维华,唐守国,高淑娟,等. 基于 SOA 架构的业务协同关键技术平台[J]. 计算机工程,2009,35(19):280-281.
[4] Barry&Associates Inc. Service-oriented architecture definition[EB/OL]. [http://www.service-architecture.com/web-services/articles/service-oriented_architecture_soa_definition. html](http://www.service-architecture.com/web-services/articles/service-oriented_architecture_soa_definition.html).
[5] ERL T. SOA 概念、技术与设计[M]. 北京:机械工业出版社,2007.
[6] BROWN P C. SOA 实践指南:应用整体架构[M]. 北京:机械工业出版社,2009.

3.3 安全性测试用例的生成

软件安全性统计测试用例的产生包括两方面:a)依据安全性测试剖面选择相应的运行;b)产生触发软件运行的相应的输入变量的具体取值。

抽取运行的过程如下:将安全性测试剖面中所有运行 op_i 发生的概率 p_i 求前 j 项和 $S_j, S_j = \sum_{i=1}^j p_i$, 形成一个数列 $\{S_j\}$, 其中 $j=1, 2, \dots, n, n$ 为安全性测试剖面中运行总数, 规定 $S_0=0$, 并有 $S_1=p_1, S_n=1.0, S_j-S_{j-1}=p_j$ 。任给一个随机数 $\eta \in (0, 1.0)$, 观察 η 落在哪个区间, 若 η 满足 $S_{j-1} < \eta \leq S_j$, 则该随机数 η 与 p_j 这个概率值对应, 那么这次随机抽到的运行为 $operation_j$ 。

要进行第二次抽样来确定运行中每个输入变量将取到的具体取值。由于输入变量的取值类型可以是离散的, 也可以是连续的, 在随机抽样时要分别考虑这两种类型输入变量的抽样方法。连续性的输入变量要在其取值区间内, 依概率密度函数抽样; 离散型的要在其可取值集合内依概率分布抽样。

通过对运行和各输入变量取值两个步骤的抽样, 就生成了一个测试数据。每个输入变量的测试数据构成一个输入向量, 用于测试被选定的功能。不断重复上述步骤, 直到生成所需数量的测试数据为止。

4 安全性测试的停止标准

对于给定的安全性测试指标, 可以计算出无失效测试所需的测试用例数, 并且在 3.1 节中, 给出了安全性测试的加速因子 $\Lambda(x) = Pc$, 下面计算安全性测试所需的测试用例数。

依据统计测试剖面产生 n 个测试用例, 其中发生 r 个失效。根据安全性测试运行剖面抽样需要抽取 n/Pc 个测试用例才能导致这 r 个失效。那么 p 的后验分布为

$$f(p|r, n/Pc, 1, 1) = \frac{1}{B(1+r, 1+n/Pc-r)} p^r (1-p)^{n/Pc-r}$$

假设给定的安全性指标为 (p_0, C) , 根据 $f(p \leq p_0) = \int_0^{p_0} \frac{1}{B(1, 1+n/Pc)} (1-p)^{n/Pc} d_p \geq C$ 。可以计算出安全性测试所需的测试用例数, $n = \left\lceil Pc \frac{\ln(1-C)}{\ln(1-p_0)} - 1 \right\rceil$ 。

由于 $Pc < 1$, 例子中给出的 Pc 值为 0.52, 也即安全关键性功能占总的功能剖面的比例为 0.52。当给定的安全性指标 (p_0, C) 为 $(10^{-8}, 0.99)$ 时, 基于 Bayesian 统计理论的软件测试方法所需的测试用例数为 $4.6 \times e^8$; 安全性测试所需的测试用

例数为 $2.39 \times e^8$, 安全性测试用例数约为原来的 1/2。

安全性测试所需测试用例数将小于基于 Bayesian 统计理论的软件测试所需的用例数。如果需要测试的安全性相关功能是极小概率事件, 这样的方法会显得更加有效。

5 结束语

本文对现有的安全关键软件的测评方法进行研究, 分析了它们在安全性测试中存在测试用例数过大的局限, 提出了一种利用故障树的分析结果对软件统计测试功能剖面进行调整, 生成安全性测试剖面的过程, 利用该测试剖面生成测试用例进行安全性测试。这样便能加大安全相关的功能在测试中的测试力度, 以更好地满足安全性测试的要求。通过例子分析可以发现, 采用这种方法进行软件测试可以有效地减少测试用例量, 提高测试效率。本方法不仅可以提高对安全性相关功能的测试, 而且对安全性影响大的功能测试也会更加充分。

参考文献:

- [1] 杨仕平, 桑楠, 熊光泽. 安全关键软件的防危性测评技术研究[J]. 计算机学报, 2004, 27(4): 442-450.
- [2] PARNAS D L, Van SCHOUWEN A J, KWAN S P. Evaluation of safety-critical software[J]. Communication of ACM, 1990, 33(6): 636-648.
- [3] HOWDEN W E. Good enough versus high assurance software testing and analysis methods[C]//Proc of the 3rd International High Assurance Systems Engineering Symposium. Washington DC: IEEE Computer Society, 1998: 166-175.
- [4] LITTLEWOOD B, STRIGINI L. Assessment of ultra-high dependability for software-based systems[J]. Communications of the ACM, 1993, 36(11): 69-80.
- [5] MILLER W M, MORELL L J, NOONAN E, et al. Estimating the probability of failure when testing reveals no failures[J]. IEEE Trans on Software Engineering, 1992, 18(1): 33-43.
- [6] TANG D, HECHT H. A possible approach to assessing dependability for safety-critical software[C]//Proc of the 2nd Annual Conference of Computer Assurance. 1997.
- [7] LEVESON N. Software safety: why, what and how[J]. ACM Computing Surveys, 1986, 18(2): 125-163.
- [8] 覃志东, 雷航, 桑楠, 等. 安全关键软件可靠性验证测试方法研究[J]. 航空学报, 2005, 6(3): 334-339.
- [9] 郭瑛, 艾渤, 钟章队. 重要性采样研究进展[J]. 信息与电子工程, 2011, 9(5): 604-609.
- [10] 李曼, 王大治, 杜小勇, 等. 基于领域本体的 Web 服务动态组合[J]. 计算机学报, 2005, 28(4): 644-650.
- [11] 曹步清, 李兵. 一种网络化软件的按需服务发现方法[J]. 计算机科学, 2012, 39(1): 96-123.
- [12] LIU Yu-tu, NGU A H, ZENG L Z. QoS computation and policing in dynamic Web service selection[C]//Proc of the 13th International World Wide Web Conference. New York: ACM Press, 2004: 66-73.
- [13] TAO Fei, ZHAO Dong-ming, HU Ye-fa, et al. Resource service composition and its optimal selection based on particle swarm optimization in manufacturing grid system[J]. IEEE Trans on Industrial Informatics, 2008, 4(4): 315-327.
- [14] 刘必欣. 动态 Web 服务组合关键技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2005.
- [15] 龚小勇. 基于 QoS 的 Web 服务发现与组合方法研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2008.
- [16] 杨斌, 张卫冬, 张利欣, 等. 基于 SOA 的物联网应用基础框架[J]. 计算机工程, 2010, 36(17): 95-97.
- [17] 蒋林岑, 季一木. 物联网业务模型描述语言的研究与设计[J]. 计算机技术与发展, 2012, 22(2): 249-253.
- [18] 侯丽珊, 金芝, 吴步丹. 需求驱动的 Web 服务建模及其验证: 一个基于本体的方法[J]. 中国科学 E 辑: 信息科学, 2006, 36(10): 1189-1219.
- [19] 汤健, 郑丽伟, 金芝. 需求驱动的服务 agent 协作及其协商框架[J]. 模式识别与人工智能, 2008, 21(5): 643-653.
- [20] 田加正. 物联网环境下基于 QoS 的 Web 服务组合研究[D]. 北京: 中国石油大学, 2011.
- [21] 许蕾, 陈林, 徐宝文. 用户需求驱动的 Web 服务测试[J]. 计算机学报, 2011, 34(6): 1029-1040.
- [22] 万长林, 陈立民, 王竹晓, 等. 语义 Web 服务组合中的服务建模及规划算法[J]. 智能系统学报, 2009, 4(6): 490-496.

(上接第 1759 页)