

# 物联网服务动态评价选择方法研究

何秀青<sup>1,2</sup>,王映辉<sup>1</sup>

(1. 西安理工大学计算机科学与工程学院, 陕西西安 710048; 2. 陕西师范大学计算机科学学院, 陕西西安 710062)

**摘要:** 对于物联网 WoT 面向服务 SOA 的软件架构中基于服务质量 QoS 选择最优服务的问题, 给出了反馈控制的 QoS 属性向量动态更新过程和服务动态评价选择方法. 基于 WoT 设备资源受限的特点, 通过指数加权平均和以并发引用服务的客户端个数为价格因素的随机指数标记 REM 方式估计服务时间, 在系统在线概率中加入服务相邻状态检测实现服务可用性的估计, 基于偏好权值和 QoS 属性向量通过 TOPSIS 过程选择最优服务. NS-3.13 的模拟实验结果表明基于 QoS 属性向量动态更新选择最优服务的准确性明显优于简单 QoS 属性向量.

**关键词:** 物联网; 服务选择; 服务质量; TOPSIS 评价

**中图分类号:** TP311.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2013)01-0117-06

**电子学报 URL:** <http://www.ejournal.org.cn>

**DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2013.01.021

## Service Selection Algorithm Based on Dynamic Assessment for Web of Things

HE Xiu-qing<sup>1,2</sup>, WANG Ying-hui<sup>1</sup>

(1. Faculty of Computer Science and Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China;

2. School of Computer Science, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

**Abstract:** Due to WoT (Web of Things) is composed of numbers of resources-limited devices, it is a challenging work that the optimal web service is selected from a similar functionality service group based on the non-functional properties (QoS) without heavy interactive query process in SOA (Service Oriented Architecture). This work focus on the dynamic update process of QoS attributes vector and the optimal service selection algorithm based on the client's feedback in WoT. The service time is estimated by the REM (Random Exponential Marking) which use the concurrent clients number as the price index, and the exponentially weighted average of the current service expense and the previous record. The service availability is estimated by the online probability with the service state detection. The Empirical results based on NS-3.13 simulation show that the accuracy of optimal web service selection based on our presented approaches is significantly better than the simple QoS attributes.

**Key words:** web of things; service selection; quality of service; TOPSIS (technique for order preference by similarity to an ideal solution) assessment

## 1 引言

随着嵌入式设备的广泛应用, 基于因特网实现其相互通信和数据共享的物联网 IoT (Internet of Things) 技术成为研究者关注的重点<sup>[1,2]</sup>. 由于物联网应用需求的多样性需求, 如何基于现有的开放 Web 技术构建 WoT (Web of Things) 物联网, 实现物联网设备及物联网设备与现有网络服务之间的信息共享、协同工作和系统集成成为研究的热点<sup>[3,4]</sup>. 面向服务 SOA (Service Oriented Architecture) 软件架构是 WoT 的主要实现形式, 比较典型的有基于 SOAP (Simple Object Access Protocol) 协议的 WS-\*<sup>[5]</sup> 和 RESTful (REpresentational State Transfer)<sup>[6,7]</sup> 两

种方式.

文献[3]全面阐述了 WoT 的架构、实现技术和应用, 文献[4]讨论了基于 SOA 的 IoT (即 WoT) 与企业现有信息系统集成的关键技术和应用. 由于物联网设备资源受限的特点, SOA 应用于 IoT 构建 WoT 具有诸多挑战, 其中之一是如何在 WoT 中根据嵌入式设备的需求描述, 采用有效的算法或策略从相同功能的服务中基于其非功能属性 QoS 选择最优服务<sup>[3,4]</sup>. 在传统的 SOA 软件架构中, 最优服务选择问题一直是研究的热点, 如文献[8]基于用户偏好需求和服务关联函数 WsRF 实现对最优服务的选择; 文献[9]提出了基于定性多用户偏好的 Web 服务选择策略; 文献[10]针对不同用户的失效概

收稿日期: 2012-03-19; 修回日期: 2012-06-11

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 61072151, No. 61003061); 高等学校博士学科点专项科研基金 (No. 20090202120006); 陕西省重大科技创新项目 (No. 2009ZKC02-08); 陕西省教育厅产业化培育项目 (No. 09JC08)

率,提出了一种基于数学统计的个性化 QoS 评价算法;文献[11]中作者基于质量约束树 QCT(Quality Constraint Tree)给出了基于代理的服务选择机制;文献[12]给出了一个基于非均衡变异离散粒子群算法的 QoS 全局最优 Web 服务选择方法.这些研究成果可以很好地应用于传统网络,但 WoT 中的设备在信息处理、通信和存储能力等方面相对较弱,大量的交互操作会影响其正常的业务功能<sup>[3,4]</sup>.为此,一些研究者对 WoT 中服务的选择问题进行了研究.如文献[4,13]讨论了基于 DPWS(Device Profile for Web Services)实现资源受限型设备服务的选择和交互操作过程.文献[14]设计实现了一个能够快速体现 WoT 中服务提供者状态变化的服务搜索引擎 dyser,同时该研究小组在文献[15]中比较了 Snoogle、Microsearch 和 MAX 等服务搜索引擎的实现技术,并给出了 WoT 中服务状态变化的预测模型.文献[16]提出了一个基于语义网的 WoT 服务发现模型 DiscoWoT.这些研究主要集中在 WoT 服务基于功能的发现策略和实现技术上,而对于从多个相同功能的服务中基于其非功能属性选择最优服务缺乏有效研究.针对这一问题,给出了基于反馈控制以 QoS 属性向量动态更新为基础的服务动态评价选择方法,并通过实验对最优服务选择的准确性进行模拟验证.

## 2 服务动态评价选择架构

WoT 服务动态评价选择架构如图 1 所示.服务选择代理 SSB(Service Selection Broker)负责服务的分类存储管理和评价选择.服务提供者向 SSB 注册服务并提交相应服务的 QoS 初始化信息.客户端引用服务时,先将其功能需求和偏好权值发给 SSB,SSB 对相同功能的服务以其非功能属性 QoS 属性向量及用户偏好权值为基础进行评价,根据评价结果选择最优服务并将引用信息返回给客户端;客户端引用服务后,将服务引用情况反馈给 SSB,SSB 根据反馈信息更新被引用服务的 QoS 属性向量值.

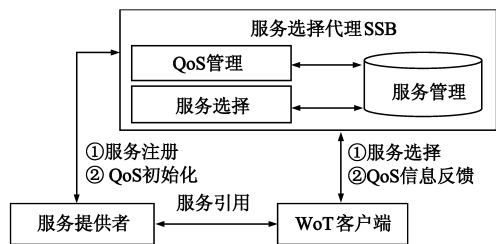


图1 WoT服务动态评价选择架构

定义1 SSB中具有相同功能的服务集描述为:

$$S_g = \{s_i | 1 \leq i \leq n\} \quad (1)$$

$n$  为服务的个数,  $s_i$  的实现技术、运行环境等可能互不

相同,但其具有相同的功能描述  $g$ .

文献[10,16]对服务的 QoS 属性进行了详细的描述,文献[3]介绍了物联网中对服务的特殊要求.综合考虑, WoT 服务的 QoS 属性向量定义为:

定义2 服务  $s_i$  在  $t$  时刻的 QoS 属性向量为:

$$A^{(i)}(t) = \{a_t^{(i)}(t), a_r^{(i)}(t), a_a^{(i)}(t), a_p^{(i)}(t), a_s^{(i)}(t), a_c^{(i)}(t)\} \quad (2)$$

当  $t$  时刻选择的服务  $s_i$  在  $t+1$  时刻被引用结束后,根据客户端的反馈信息  $M_i(t+1)$ ,有:

$$A^{(i)}(t+1) = f(A^{(i)}(t), M_i(t+1)) \quad (3)$$

即更新过程  $f$  基于  $M_i(t+1)$  对属性向量值进行更新.客户端反馈信息包括服务被引用的开始和结束时间、服务状态等.属性向量元素的含义和更新过程  $f$  在第 3 节详细讨论.

定义3 客户端通过偏好向量体现对 WoT 服务不同 QoS 属性的偏好程度:

$$W_g = \{w_i | \sum_{i=1}^6 w_i = 1\} \quad (4)$$

$w_i$  依次为  $A^{(i)}(t)$  中元素对应的权值.

定义4 在  $t$  时刻,基于用户偏好向量  $W_g$  在服务集  $S_g$  中选择最优服务的过程为:

$$P: \{(A^{(i)}(t), W_g) | i = 1, 2, \dots, n\} \rightarrow E(t) \quad (5)$$

$E(t)$  为  $S_g$  中服务在  $t$  时刻基于  $W_g$  和  $A^{(i)}(t)$  进行服务评价后的服务综合评价指数集合.

由上述定义可知,服务 QoS 属性向量值动态更新过程和服务评价选择过程为简单反馈控制过程,如图 2 所示.

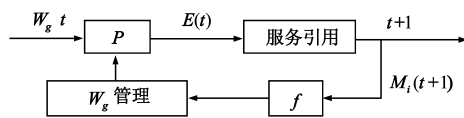


图2 QoS动态更新与服务选择反馈控制

## 3 服务 QoS 属性向量动态更新过程

服务  $s_i$  在  $t$  时刻的 QoS 属性向量  $A^{(i)}(t)$  元素的含义和更新过程  $f$  为:

(1)  $a_t^{(i)}(t)$ : 服务时间(service time).

$a_t^{(i)}(t)$  包括客户端发起会话请求、 $s_i$  响应并处理客户端请求和返回服务结果并结束会话的总时间.网络会话时间与网络带宽、网络传输速率、网络拥塞和服务提供者单点失效情况等因素有关,  $s_i$  响应客户端请求时间与  $s_i$  瞬时并发响应的客户端请求个数有关.为防止出现大范围震荡,服务时间基于指数加权平均迭代计算,同时加入时间修正因子体现  $s_i$  瞬时并发响应情况.  $a_t^{(i)}(t)$  在  $t$  时刻的迭代计算式为:

$$a_t^{(i)}(t) = (1 - \alpha) \times a_t^{(i)}(t-1) + \alpha \times T^{(i)}(t) + \delta^{(i)}(t) \quad (6)$$

其中  $T^{(i)}(t)$  为客户端在  $t$  时刻完成引用  $t$  的时间;  $\alpha$  为指数加权平均因子; 由于更新后的  $a_i^{(i)}(t)$  用于下一时刻服务评价选择过程, 因此服务时间修正因子  $\delta^{(i)}(t)$  要能体现  $s_i$  并发响应客户端请求个数的变化趋势, 若引用  $s_i$  的客户端个数递增, 则  $\delta^{(i)}(t)$  递增, 反之  $\delta^{(i)}(t)$  递减. 参考主动队列管理策略, 引入服务价格通过随机指数标记 REM(Random Exponential Marking)<sup>[18]</sup> 来对服务时间进行修正. 则  $s_i$  在  $t$  时刻的服务价格为:

$$p^{(i)}(t) = [p^{(i)}(t-1) + \gamma \times (b^{(i)}(t) - (1 - \alpha^{(i)}) \times b^{(i)} \times (t-1) - \alpha^{(i)} b^{(i)*})] + (7)$$

其中  $\gamma > 0, \alpha^{(i)} > 0, [z]^+ = \max(0, z), \gamma$  控制引用  $s_i$  的客户个数发生改变时 REM 的响应速度;  $\alpha^{(i)}$  为加权因子, 可以根据  $s_i$  的处理能力确定.  $b^{(i)*}$  为  $s_i$  能够并发服务的最多客户端个数,  $b^{(i)}(t)$  为  $t$  时刻正在引用  $s_i$  的客户端个数, 若  $s_i$  拒绝客户端请求, 则认为  $s_i$  不可用,  $b^{(i)}(t) = b^{(i)*}$ .

$s_i$  在  $t$  时刻的标记概率为:

$$m^{(i)}(t) = 1 - \vartheta^{-p^{(i)}(t)} \quad (8)$$

其中  $\vartheta$  为常数, 且  $\vartheta > 1$ .

若  $s_i$  在  $t$  时刻之前的  $[t-1-l, t-1]$  时间段内的平均标记概率为  $\Delta m^{(i)}(t-1)$ , 则:

$$\delta^{(i)}(t) = \left(1 - \frac{\Delta m^{(i)}(t-1)}{m^{(i)}(t)}\right) \times \eta^{(i)} \quad (9)$$

$\eta^{(i)}$  为  $s_i$  的服务时间修正常数, 根据  $s_i$  的处理能力确定. 当  $m^{(i)}(t-1) > \Delta m^{(i)}(t-1)$  时,  $s_i$  在  $t$  时刻的价格递增,  $s_i$  通过  $\delta^{(i)}(t)$  修正增加服务时间; 当  $m^{(i)}(t-1) = \Delta m^{(i)}(t-1)$  时, 价格没有变化,  $s_i$  无需修正服务时间; 当  $m^{(i)}(t-1) < \Delta m^{(i)}(t-1)$  时,  $s_i$  通过  $\delta^{(i)}(t)$  修正减少服务时间.

**(2)  $a_r^{(i)}(t)$ : 服务可靠性 (Service reliability).**

$s_i$  在  $t$  时刻的服务可靠性为:

$$a_r^{(i)}(t) = 1 - \frac{N_r^{(i)}(t)}{N^{(i)}(t)} \quad (10)$$

其中  $N^{(i)}(t)$  和  $N_r^{(i)}(t)$  分别是截止  $t$  时刻  $s_i$  在  $[t-l, t]$  时段内被引用的总数及未获得期望服务结果的次数,  $l$  的取值需要根据  $s_i$  被引用的密集程度确定, 当  $l$  足够大时,  $a_r^{(i)}(t)$  可以作为  $s_i$  在  $t+1$  时刻的可靠性估计.

**(3)  $a_v^{(i)}(t)$ : 服务可用性 (Service availability).**

SSB 对  $s_i$  的可用状态只能通过客户端的反馈信息获得, 因此  $s_i$  在  $t$  时刻的服务可用性通过系统在线概率<sup>[17]</sup>估计:

$$a_v^{(i)}(t) = \frac{T_u^{(i)}(t)}{T_u^{(i)}(t) + T_d^{(i)}(t)} \quad (11)$$

其中  $T_u^{(i)}(t)$  和  $T_d^{(i)}(t)$  分别是截止  $t$  时刻  $s_i$  在  $[t-l, t]$  时段内服务可用 (客户端获得期望的服务响应结果或准确的提示信息等) 和不可用 (客户端连接请求失败) 的时间累加和. 为快速体现服务状态的变化, 在计算在线概率时加入了对相邻状态的检测.  $T_u^{(i)}(t)$  和  $T_d^{(i)}(t)$  的计算式为:

$$\begin{aligned} T_u^{(i)}(t) &= T_u^{(i)}(t-1) + (1 - \mu^{(i)}(t)) \times \Delta T^{(i)}(t) \\ T_d^{(i)}(t) &= T_d^{(i)}(t-1) + \mu^{(i)}(t) \times \Delta T^{(i)}(t) \end{aligned} \quad (12)$$

$\Delta T^{(i)}(t)$  为  $s_i$  在  $t-1$  时刻被引用完成到  $t$  时刻被引用完成之间的时间差.  $\mu^{(i)}(t)$  的取值与  $s_i$  在  $t-1$  和  $t$  时刻客户端返回的状态信息  $U^{(i)}(t)$  有关:

$$\mu^{(i)}(t) = \begin{cases} 0, & U^{(i)}(t-1) = up \wedge U^{(i)}(t) = up \\ 1, & U^{(i)}(t-1) = down \wedge U^{(i)}(t) = down \\ \psi, & (U^{(i)}(t-1) = up \wedge U^{(i)}(t) = down) \vee \\ & (U^{(i)}(t-1) = down \wedge U^{(i)}(t) = up) \end{cases} \quad (13)$$

其中  $0 < \psi < 1$ , 当  $s_i$  的状态在  $up$  和  $down$  之间变化时, 若偏向于  $s_i$  在  $up$  状态的时间比  $down$  状态的时间长, 则  $\psi$  取较小值, 否则取较大值.

**(4)  $a_p^{(i)}(t)$ : 服务流行度 (Service popularity).**

$s_i$  在  $t$  时刻的服务流行度体现了  $s_i$  在  $[t-l, t]$  时段内, 相对于  $S_g$  中的其它服务被访问的频率.  $a_p^{(i)}(t)$  的计算式为:

$$a_p^{(i)}(t) = \frac{N_r^{(i)}(t)}{N_r^{(*)}(t)} \quad (14)$$

其中  $N_r^{(i)}(t)$  是截止  $t$  时刻  $s_i$  被成功引用的次数,  $N_r^{(*)}(t) = \sum_{i=1}^n N_r^{(i)}(t)$  为  $S_g$  中所有服务被成功引用的次数之和. 由于用户偏好的差异性, SSB 对同一  $s_i$  的属性向量给出的评价可能不同, 但通过  $a_p^{(i)}(t)$  可以体现出  $s_i$  总的引用情况.

**(5)  $a_s^{(i)}(t)$ : 服务安全等级 (Service security level).**

$a_s^{(i)}(t)$  为一综合评价指标, 由  $s_i$  提供者确定, 在本文中  $1.0 \leq a_s^{(i)}(t) \leq 5.0$ , 数字越大安全等级越高.

**(6)  $a_c^{(i)}(t)$ : 单次服务价格 (Service charge).**

$a_c^{(i)}(t)$  根据实际情况可以定义为时间段函数, 也可以定义为常数.

## 4 服务评价选择过程

基于  $S_g$  中服务 QoS 属性向量和偏好向量  $W_g$  选择最优服务是多属性决策问题, 基于定义 4 描述, 通过 TOPSIS<sup>[19]</sup> (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution) 过程选择最优服务.

**Step1** 建立属性向量决策矩阵:

$$D = [v_{ij}] = [A^{(1)}(t) \ A^{(2)}(t) \ \dots \ A^{(n)}(t)]^T \quad (15)$$

其中  $1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq 6, n$  为  $S_g$  中服务的个数.

**Step2** 对矩阵  $D$  进行归一化处理, 对应属性值乘以偏好向量权值, 结果仍保存在矩阵  $D$  中:

$$v_{ij} = \frac{w_j \times v_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n v_{ij}^2}} \quad (16)$$

其中  $1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq 6$ .

**Step3** 服务时间和服务价格为成本型属性, 设所在集合为  $B$ ; 其它属性为效益型属性, 设所在集合为  $C$ . 则矩阵  $D$  中, 集合  $B$  中元素对应的列中的最小值和集合  $C$  中元素对应的列中的最大值形成最优目标集  $A^*$ ; 集合  $B$  中元素对应的列中的最大值和集合  $C$  中元素对应的列中的最小值形成最劣目标集  $A^-$ .  $A^*$  和  $A^-$  分别记为:

$$A^* = \{v_j^* \mid 1 \leq j \leq 6\}, A^- = \{v_j^- \mid 1 \leq j \leq 6\} \quad (17)$$

**Step4** 分别计算到最优目标和最劣目标的距离尺度  $D_i^*$  和  $D_i^-$ :

$$D_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^6 (v_{ij} - v_j^*)^2}, D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^6 (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (18)$$

其中  $1 \leq i \leq n$ .

**Step5** 构建服务综合评价指数集合:

$$E(t) = \left\{ e_i(t) \mid e_i(t) = \frac{D_i^-}{D_i^* + D_i^-} \right\} \quad (19)$$

其中  $1 \leq i \leq n$ .

**Step6** 集合  $E(t)$  中的元素按降序排列, 若  $q(e_i(t))$  为  $e_i(t)$  在集合  $E(t)$  中的排队位置, 则  $q(s_i) = q(e_i(t))$  为  $t$  时刻  $s_i$  在  $S_g$  中的排队位置,  $q(s_i) = 1$  表示  $s_i$  为最优服务.

## 5 实验

基于离散型网络事件模拟环境 NS-3.13<sup>[20]</sup> 对 WoT 中 QoS 动态更新和服务评价选择过程进行模拟. 模拟网络拓扑结构如图 3 所示, 节点名称和功能描述如表 1 所示.

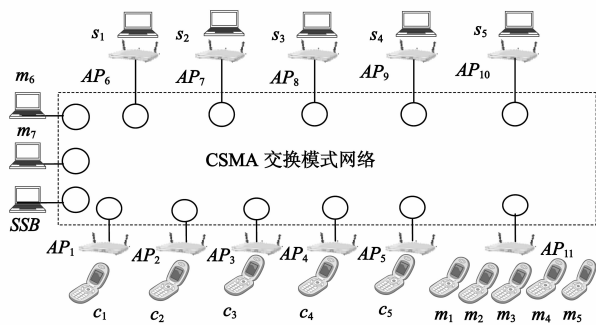


图3 WoT中QoS动态更新和服务评价选择模拟

表1 模拟环境节点名称和功能描述

名称	功能描述
无线接入点 $AP_i$	通过 p2p 链路连接到 CSMA 交换模式网络; $AP_6 \sim AP_{11}$ 具有不同的速率、故障率和 SSID, 且 p2p 链路具有不同传输速率和故障率; $AP_1 \sim AP_5$ 及其 p2p 链路具有相同的物理属性.
服务 $s_i$	每个 $s_i$ 分别运行于独立的移动节点, 移动节点通过对应的 $AP_i (i=6, 7, \dots, 10)$ 接入网络; 每个 $s_i$ 具有不同的信息处理能力(体现在请求延迟的大小)、并发客户访问数.
客户端程序 $c_i$ 和 $m_i$	$c_i (i=1, 2, \dots, 5)$ 只访问对应的 $s_i$ , 分别运行于独立的移动节点, 并通过相应的 $AP_i$ 接入网络; $m_i (i=1, 2, \dots, 5)$ 通过随机并发访问任意 $s_i$ 模拟 WoT 中真实访问情景.
移动节点	$c_i, m$ 和 $s_i$ 运行的移动节点采用 RandomDirection2dMobilityModel 移动模式, 移动区域为没有重叠的 $(-10, 10, -10, 10)$ 矩形; 暂停时间和移动速度为随机数.
SSB	服务选择代理 SSB 负责对 $S_g$ 中的服务属性进行更新并评价选择最优服务.

$t$  时刻选择的最优服务  $s_i$  被引用后, 在  $t+1$  时刻, 若仅基于反馈信息  $M_i(t+1)$  的 QoS 属性向量记为  $A^{(i)*}(t+1)$ , 相应的属性值为: 服务时间取  $T^{(i)}(t+1)$ ; 服务可靠性取服务提供者注册服务时给出的初始值; 若  $s_i$  拒绝客户端请求, 服务可用性为 0, 否则为 1; 服务流行度、服务安全等级和服务价格同前面的定义.  $A^{(i)*}(t+1)$  没有经过迭代累加等处理, 相对于  $A^{(i)}(t+1)$ , 则更能准确描述服务  $s_i$  在  $t+1$  时刻的状态. 记  $t+1$  时刻基于用户偏好向量  $W_g$  和  $A^{(i)*}(t+1)$  的服务选择综合评价指数集合为  $E^*(t+1) = \{e_i^*(t+1) \mid 1 \leq i \leq n\}$ , 则在  $t+1$  时刻,  $q(e_i^*(t+1))$  为  $s_i$  在  $S_g$  中的真实排队位置, 为了叙述方便称为服务排队验证位置.

在  $t$  时刻, SSB 基于用户偏好向量  $W_g$  和  $A^{(i)}(t)$  对  $S_g$  中的服务进行评价, 若  $q(s_x) = q(e_x(t)) = 1$ , 则最优服务为  $s_x$ , 在实验中由  $c_x$  引用  $s_x$ , 同时  $c_j$  引用  $s_j (1 \leq j \leq 5, j \neq x)$ . 所有的  $c_i$  同时访问对应的服务  $s_i (1 \leq i \leq 5)$ , 其目的是获得  $c_x$  在相同的网络情景中引用其它服务  $s_j$  的对比信息, 即  $c_x$  引用  $s_x$  后, 若在同样的网络情景中分别引用其它服务, 情况会如何? 这样在  $t+1$  时刻, 当所有  $c_i$  完成对相应服务的引用后, SSB 除完成对 QoS 属性向量更新外, 还可以得出服务  $s_x$  在  $t+1$  时刻的  $A^{(x)*}(t+1)$  及服务排队验证位置  $q(e_x^*(t+1))$ .

为了量化分析, 引入最优服务排队验证距离  $d_x(t+1) = |q(e_x^*(t+1)) - q(e_x(t))|$ , 即计算最优服务  $s_x$  在  $t+1$  时刻服务排队验证位置  $q(e_x^*(t+1))$  与  $t$  时刻基于  $A^{(i)}(t)$  选择的最优服务排队位置  $q(e_x(t))$  的差

值,对于最优服务  $s_x$ ,  $q(e_x(t)) = 1$ . 若  $d_x(t+1) = 0$ , 则说明在  $t$  时刻选择的最优服务, 在  $t+1$  时刻的服务排队验证时为真正的最优服务, 即在  $t$  时刻为  $t+1$  时刻基于  $A^{(i)}(t)$  选择的最优服务是准确的; 反之若  $d_x(t+1)$  的值越大, 则说明在  $t$  时刻对最优服务选择的准确性越差.

为了比较 QoS 属性向量动态更新对服务评价选择准确性的影响, 引入简单 QoS 属性向量  $A^{(i)'}(t)$ ,  $A^{(i)'}(t)$  的服务时间和服务可用性同  $A^{(i)*}(t)$  (即客户端通过简单记录可以获得), 其它属性值取服务提供者注册服务时给出的初始值. 则在  $t$  时刻, 记基于  $W_g$  和  $A^{(i)'}(t)$  的服务选择综合评价指数集合为  $E'(t+1) = \{e'_i(t) | 1 \leq i \leq n\}$ , 若  $q(s_y) = q(e'_y(t)) = 1$ , 则最优服务  $s_y$  作为  $t+1$  时刻的引用服务, 相应的最优服务排队验证距离记为  $d'_y(t+1) = |q(e'_y(t+1)) - q(e'_y(t))|$ .

记  $d_x(t+1) = l (l = 0, 1, \dots, n-1)$  的测试次数为  $N(l)$ ,  $d'_y(t+1) = l (l = 0, 1, \dots, n-1)$  的测试次数为  $N'(l)$ , 若总的测试次数为  $N$ , 记  $\rho(l) = \frac{N(l)}{N} \times 100$ ,  $\rho'(l) = \frac{N'(l)}{N} \times 100$ , 则  $\rho(l)$  和  $\rho'(l)$  分别为基于  $A^{(i)}(t)$  和  $A^{(i)'}(t)$  选择的最优服务, 其服务排队验证距离为  $l$  的服务选择次数在总的测试次数中所占百分比. 显然, 若  $\rho(0)$  越大则说明基于  $A^{(i)}(t)$  对最优服务选择的准确性越好.

实验选用 7 个组测试场景, 分别对应不同的用户偏好权值向量, 如表 2 所示, 1~6 组分别有一个对应于 QoS 属性值的偏重权值, 第 7 组每个权值几乎相同.

表 2 测试用用户偏好权值向量

测试场景	$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_4$	$w_5$	$w_6$
1	0.65	0.10	0.10	0.05	0.05	0.05
2	0.10	0.65	0.10	0.05	0.05	0.05
3	0.10	0.10	0.65	0.05	0.05	0.05
4	0.10	0.10	0.05	0.65	0.05	0.05
5	0.10	0.10	0.05	0.05	0.65	0.05
6	0.10	0.10	0.05	0.05	0.05	0.65
7	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.15

分别基于不同的测试场景模拟并统计  $\rho(l)$  和  $\rho'(l)$ . NS-3.13 中随机数控制参数  $nSeed = 1$ ,  $nRun = 100$ ; 共有 5 个模拟服务, 排队验证距离为 0~4; 服务更新时间更新中  $\alpha = 0.25$ ,  $\gamma = 0.005$ ,  $\alpha^{(i)} = 0.25$ ,  $\vartheta = 1.005$ ,  $\eta^{(i)} = 0.05$ ; 服务可用性估计中  $\phi = 0.125$ . 图 4 为 7 个预设场景测试中最优服务排队验证距离 0 (选择和验证都为最优服务) 和 1 (选择的最优服务在验证中为次优服务) 所占比例对比折线图.

由图 4 可以看出, 在 7 个测试场景中,  $\rho(0)$  明显优于  $\rho'(0)$ ; 虽然  $\rho(1)$  和  $\rho'(1)$  的差别不大, 但总体上  $\rho(0)$

+  $\rho(1)$  相对于  $\rho(2) \sim \rho(4)$  之和占有明显的优势. 即基于论文提出的服务 QoS 属性向量动态更新方法对最优服务选择的准确性有比较大的提高.

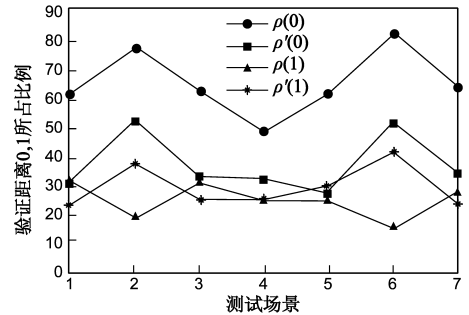


图 4 预设测试场景中最优服务排队验证距离 0 和 1 所占比例对比

## 6 结论

物联网 WoT 基于现有 Web 技术实现嵌入式设备互联和系统集成, 针对其设备资源受限的特点, 主要研究了相同功能服务中基于其非功能属性 QoS 属性向量进行最优服务选择的问题. 给出了基于 QoS 动态更新的服务评价选择架构, 详细阐述了基于用户反馈的 QoS 属性向量动态更新过程和基于 TOPSIS 的服务评价选择过程. 基于 NS-3.13 对 WoT 进行模拟的实验结果表明, QoS 属性向量的动态更新过程能够很好地适应 WoT 网络并用于对最优服务的评价选择. 由于服务流行度定义为服务被引用的频率, 当最优服务发生改变时, 所有服务的流行度都发生改变, 这种紧密耦合的特点使偏好于服务流行度对最优服务选择的准确性相对较差. 论文的后续工作将针对服务流行度和客户端主观评价等对 WoT 中最优服务选择的影响问题进行研究.

## 参考文献

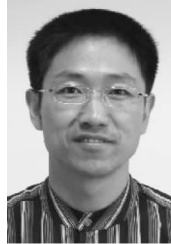
- [1] Luigi Atzoria, Antonio Ierab, Giacomo Morabito. The internet of things: A survey [J]. Computer Networks, 2010, 54(15): 2787 - 2805.
- [2] 钱志鸿, 王义君. 物联网应用技术研究 [J]. 电子学报, 2012, 40(5): 1023 - 1029.  
QIAN Zhi-hong, WANG Yi-jun. IoT technology and application [J]. Acta Electronica Sinica, 2012, 40(5): 1023 - 1029. (in Chinese)
- [3] D Zeng, S Guo, Z Cheng. The web of things: A survey [J]. Journal of Communications, 2011, 6(6): 424 - 438.
- [4] D Guinard, S Karnouskos, V Trifa, B Dober, P Spiess, D Savio. Interacting with the SOA-based internet of things: Discovery, query, selection, and on-demand provisioning of web services [J]. IEEE Transactions on Services Computing, 2010, 3(3): 223 - 235.
- [5] W3C Working Group. Web Services Architecture [EB/OL]. <http://www.w3.org/TR/ws-arch/>, 2012.

- [6] V Stirbu. Towards a restful plug and play experience in the web of things [A]. IEEE International Conference on Semantic Computing [C]. Santa Clara: IEEE, 2008. 512 – 517.
- [7] R T Fielding, R N Taylor. Principled design of the modern web architecture [J]. ACM Transactions on Internet Technology, 2002, 2(2): 115 – 150.
- [8] E Al-Masri, Q H Mahmoud. QoS-based discovery and ranking of web services [A]. Proceedings of 16th International Conference on Computer Communications and Networks [C]. Hawaii: IEEE, 2007. 527 – 534.
- [9] 周宁, 谢俊元. 基于定性多用户偏好的 Web 服务选择[J]. 电子学报, 2011, 39(4): 729 – 736.  
ZHOU Ning, XIE Jun-yuan. Select web services based on qualitative multi-users preferences [J]. Acta Electronica Sinica, 2011, 39(4): 729 – 736. (in Chinese)
- [10] Rutao Yang, Qi Chen, Lianyong Qi, Wanchun Dou. A QoS evaluation method for personalized service requests [A]. Proceedings of the Web Information systems and Ming [C]. Taiyuan: Springer, 2011. 393 – 402.
- [11] D Antony, V S Ananthanarayana. Dynamic selection mechanism for quality of service aware web services [J]. Enterprise Information Systems, 2010, 4(1): 23 – 60.
- [12] 王文彬, 孙其博, 赵新超, 杨放春. 基于非均衡变异离散粒子群算法的 QoS 全局最优 Web 服务选择方法[J]. 电子学报, 2010, 38(12): 2774 – 2779.  
WANG Wen-bin, SUN Qi-bo, ZHAO Xin-chao, YANG Fang-chun. Web services selection approach with QoS global optimal based on discrete particle swarm optimization with non-uniform mutation algorithm [J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(12): 2774 – 2779. (in Chinese)
- [13] H Bohn, A Bobek, F Golasowski. SIRENA-service infrastructure for real-time embedded networked devices: A service oriented framework for different domains [A]. Proceedings of the International Conference on Networking, Systems, Mobile Communications and Learning Technologies [C]. Washington, 2006. 43 – 48.
- [14] B Ostermaier, K R'omer, F Mattern, M Fahrmaier, W Kellerer. A real-time search engine for the web of things [A]. Proceedings of Internet of Things 2010 International Conference [C]. Tokyo, 2010. 1 – 8.
- [15] K Romer, B Ostermaier, F Mattern, M Fahrmaier, W Kellerer. Real-time search for real-world entities: A survey [J]. Proceedings of the IEEE, 2010, 98(11): 1887 – 1902.
- [16] S Mayer, D Guinard. An extensible discovery service for smart things [A]. Proceedings of the 2nd International Workshop on the Web of Things [C]. San Fransisco, USA: ACM, 2011. 7 – 12.
- [17] S Ran. A model for web services discovery with QoS [J]. ACM SIGecom Exchanges, 2003, 4(1): 1 – 10.
- [18] S Athuraliya, S H Low, H Li, Q Yin. REM: Active queue management [J]. IEEE Network, 2001, 15(3): 48 – 53.
- [19] C L Hwang, K Paul. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications [M]. Springer, Berlin Heidelberg, 1981.
- [20] NS-3 Developers. NS-3 Project [EB/OL]. <http://www.nsnam.org/>. 2012.

## 作者简介



**何秀青** 女, 1972 年生于兰州. 博士研究生, 主要从事 Web 服务方面的研究.  
E-mail: xiuqing@snnu.edu.cn



**王映辉** 男, 1967 年生于甘肃庄浪. 博士(博士后出站), 教授, 博士生导师, CCF 高级会员. 研究方向为图像模式识别、虚拟现实和软件工程与方法学.