

基于AHP和系统仿真的面向服务业务过程性能评价*

曾 森, 黄双喜, 范玉顺

(清华大学自动化系国家 CIMS 工程技术研究中心, 北京 100084)

摘要: 首先分析了面向服务环境下业务过程 (SOBP) 性能评价的新需求, 并从业务与 IT 两个层面指出了现有评价方法的片面性。然后从业务、应用系统和 IT 基础设施三个层次提出了 SOBP 的性能度量指标及其基于 AHP 和系统仿真的性能综合评价方法; 最后通过一个案例验证了该方法的正确性、可行性及其在服务选择和性能评价方面的全面性。

关键字: 层次分析法 (AHP); 面向服务; 性能评价; 业务过程仿真

中图分类号: TP31 **文献标识码:** A

AHP and System-Simulation Based Performance Evaluation of Service-Oriented Business Process

ZENG Sen

(National CIMS Eng. Research Center, Dep. of Automation, Tsinghua Univ., Beijing, 100084, China)

Abstract: Requirements for the performance evaluation of service-oriented business process (SOBP) and the unilateralism of existing performance evaluation methods are pointed out from the business and IT aspects. To solve this problem, the performance metrics of SOBP at three levels, i.e. business, application system, and IT infrastructure levels is proposed firstly. Then the performance calculation algorithm based on analytic hierarchy process (AHP) and system simulation are developed in detail. The correctness and operability of the method and its comprehensiveness for service selection and performance evaluation are proved by a case finally.

Key words: Analytic Hierarchy Process (AHP); Service-Oriented(SO); Performance Evaluation; Business Process Simulation

1 前言

随着网格^[1]、工作流、Web服务和面向服务架构 (SOA)^[2] 等技术和理念在企业信息化中的推广与应用, 基于服务的业务过程集成与协同广泛存在。SOA的松耦合性使业务对IT的可选择性和可组合性大大增强^{[3][4]}, 从而使面向服务环境下的业务过程 (service-oriented business process, SOBP) 性能与企业内、外部众多的包括服务在内的IT资源的选择、组合与高效运行密切相关^{[5][6]}。

因此, SOBP 的性能评价应体现 IT 对业务性能的影响并把服务等 IT 资源与业务过程中的组织、资源、人员、业务规则等其他因素进行综合考虑。

但是, 目前的企业性能评价和业务过程性能评价主要集中于过程在业务层面的属性, 它们基本没有考虑服务等IT资源对业务性能的影响。例如, 平衡记分卡中的业务过程性能指标有产品需求率、产品销售率、生产柔性等^[7]; SCOR^[8]参考模型中

的过程性能指标包括业务可靠性、响应性、柔性、成本和资产等; 文献[9][10][11]则从时间、资源负载和成本三方面分析了业务过程的静态和动态性能。

而服务选择与服务组合的研究则主要依据服务自身的属性来分析服务间的相互关系及其性能, 而忽略了从业务过程全局的角度来分析服务的业务性能以及服务与企业实际业务过程中其他类型活动之间的相互关系。文献[12][13][14]基于服务质量 (QoS) 对服务选择问题进行了研究; 文献[15][16]从IT角度研究了Web服务和组合服务的性能评价问题。

针对以上问题, 本文提出了 SOBP 的性能度量指标集合及其基于 AHP 和系统仿真的计算方法。该方法综合考虑了 SOBP 的业务时间、成本、可靠性、柔性、资源利用率、组织关联度等业务属性和服务的可靠性、灵活性等 IT 属性, 采用基于 AHP 和系统仿真的模糊综合性能评价算法实现了 SOBP 对服务的选择, 并建立了面向服务业务过程的仿真模型及其性能指标计算方法。

收稿日期: 2007-04-10; **修返日期:** 2007-05-30。 **基金项目:** 国家“863”计划资助项目 (2006AA04Z151, 2006AA04Z166); 国家自然科学基金资助项目 (60504030, 60674080)。 **作者简介:** 曾 森 (1975-), 男, 江西泰和人, 清华大学自动化系博士研究生, 主要从事IT规划、业务性能优化、业务过程仿真等研究, E-mail: ceng-s04@mails.tsinghua.edu.cn; 黄双喜 (1972-), 男, 四川射洪人, 博士, 助理研究员, 主要研究领域为软件体系结构, 企业建模, 工作流; 范玉顺 (1962-), 男, 江苏扬州人, 博士生导师, 研究方向为企业建模、工作流管理、信息化规划、系统集成、SOA等。

2 SOBP 性能属性分析

图 1 基于服务视角, 从不同抽象层次 (战略和业务、IT 应用系统^[17]和IT基础设施^[18])、不同利益相关者 (企业所有者、业务经理、客户、提供商、承包商、规划者、购买者、IT 用户、操作者、架构师、系统工程师、开发者、设计者、建立者、维护者、服务提供者等) 和不同的关注点 (concerns) 三方面详细考察了面向服务环境下的企业 (service-oriented enterprise, SOE) 中业务与IT之间的相互关系。

在同一视角下, 不同的利益相关者关注的视图层次范围 (视图尺度) 是不同的, 例如企业的客户、所有者和经营者关注的是企业的战略和业务; 企业的技术基础设施维护人员关注的是企业的计算机网络和数据等 IT 技术问题; 而企业的业务或 IT 规划者和架构师则会关注战略、业务、系统和技术基础设施及其相互关系。

显然, 各利益相关者的关注范围只是一种示意图。实际上由于企业本身具有层次性, 不同层次的规划者、架构者、设计者和维护者等会有不同级别的关注点。而且, 不同的利益相关者在企业的同一个层次中也会有不同的关注点, 相应的会得到不同的视图。例如, 企业的经营者关注的是企业的竞争力和企业的市场定位, 这样他得到的视图是企业类型: 如产品型企业、传统服务型企业和现代服务型企业; 而业务管理、分析人员则关注 SOBP 是否可由计算机系统来处理、是否需要服务 (networked service, NS) 等。

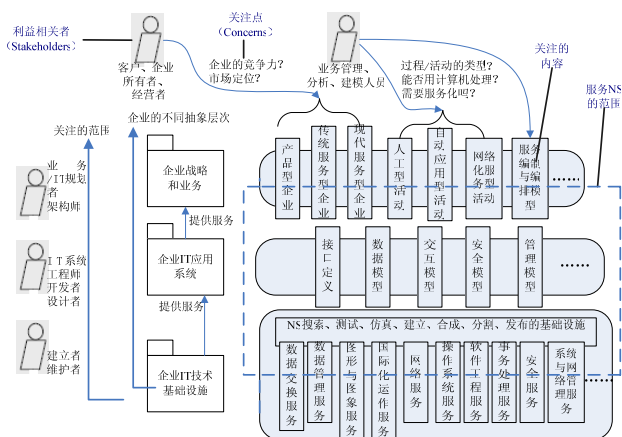


图 1 面向服务业务过程的服务视角

由图 1 可知, SOBP 中的服务 NS 跨越了 SOE 中的所有层次。企业在进行业务和 IT 的战略规划、业务过程设计与重组、IT 应用系统架构设计与实现以及 IT 基础设施的实施与维护时都要综合考虑 NS 的影响。

因此 NS 的性能描述应包括三个层次的属性: (1) 业务级属性 (Business Level Attributes, BAT)。它是 NS 作为一个实现企业经营战略目标的业务活动, 在 SOBP 中的业务功能及业务性能的表现; (2) 企业应用系统级属性 (ASAT)。它是 NS 作为一个实现业务活动功能的企业 IT 应用系统, 从 IT 技术实现角度描述 SOBP 中的虚拟服务 (ASV) 与物理服务 (PSV) 的匹配以及 PSV 与其他 PSV、应用系统型活动 (ASA) 以及人工型活动 (MA) 进行协作、集成时的相互关系及其性能的描述; (3) IT 技术基础设施级属性 (TIAT)。它是 NS 作为一个具体计算机系统, 其系统功能和系统性能与企业 IT 技术基础设施 (如软件、硬件、网络等) 之间关系的描述。

此外, 基于 NS 进行协同和集成的 SOBP 的组织跨度显然可以覆盖企业的部门、企业和供应链三个尺度范围, 其性能的分析与评价应该考虑到不同组织跨度的影响。

3 SOBP 的性能度量指标

根据 NS 的性能属性可以定义其性能度量指标 (metrics) 集合如下:

3.1 业务级度量指标

① 业务可靠性 $Reli_{busi}$ 和业务风险度 $Risk_{busi}$

$$Risk_{busi} = (\sum |x_{pi} - x_{ri}| / x_{pi}) / n,$$

$$Reli_{busi} = (1 - Risk_{busi}) \in (0, 1],$$

业务可靠性描述实现所承诺的业务性能的可信度。 x_{pi} 承诺的指标值; x_{ri} 实际的值; 可由 n 个使用者所给出的评价确定。

② 业务时间 $Time_{busi}$

服务提供者承诺的完成该业务所需要的时间; 由服务提供者发布; 可以是一个时间区间, 如 2-5 天。

③ 业务成本 $Cost_{busi}$

服务提供者承诺的完成该业务所需要的成本; 由服务提供者发布; 可以是一个区间, 如 200-500。

④ 业务柔性 $Flex_{busi}$

$Flex_{busi} = F_{fun} \otimes F_{perf}$; F_{fun} 指某个业务功能实现方式的可选方案数, 例如: 服务“运输”的功能实现方式有: 空运、火车和汽车运输三种, 因此 $F_{fun} = 3$ 。

F_{perf} 指某种功能实现方式的不同性能方案数, 例如空运的性能方案有: 10 天, 100 元; 1 天, 500 元; 因此, $F_{perf} = 2$ 。

“ \otimes ”表示业务功能与业务性能方案可组合的总方案数。

⑤ 业务的组织关联度 $Org_{relation}$

$Org_{relation} \in (0, 1)$; 表示服务提供者 O_i 与 SOBP 中所有其他活动的组织 O_j 之间在业务层面的关联关系; 两个活动同属一个组织时其值为 1; 它可以衡量企业间的业务协作紧密程度。

3.2 应用系统级度量指标

⑥ 系统响应时间 Q_{time}

$$Q_{time} = \sum_{i=1}^n Q_{time_i} / n;$$

系统从得到输入到给出输出的时间, 可由服务执行的 n 次历史记录确定。

⑦ 系统有效性 Q_{avail}

$Q_{avail} = T_{succ} / T_{total}$; 在过去的 T_{total} 时间内服务可成功调用的时间 T_{succ} ; 服务调用成功指在所承诺的响应时间内返回正确的响应结果。

⑧ 系统组织关 $Q_{org_{relation}}$

$Q_{org_{relation}} \in (0, 1)$; 表示服务提供者 O_i 与 SOBP 中其他活动的组织 O_j 之间在 IT 层面的关联关系; 两个活动同属一个组织时其值为 1; 主要从 IT 角度衡量企业间的协作紧密程度。

⑨ 系统柔性 Q_{flex}

$Q_{flex} = f(Flex_{busi})$; 与服务的 IT 实现技术有关, 如功能描述, 服务的接口描述, 是 $Flex_{busi}$ 的技术基础。

⑩ 系统吞吐率 Q_{turn}

$Q_{turn} = N / T_{total}$; 服务在单位时间内能处理正常服务请求事务的个数。

3.3 IT 基础设施级度量指标

⑪ IT 部件可靠性 IT_{reli}

$IT_{reli} = T_{work} / T_{total}$; 在给定时间区间 T_{total} 内部件正常工作时间

T_{work} 所占百分比。

⑫ IT资源利用率 IT_{utili}

$IT_{utili}=T_{use}/T_{total}$ ；在给定时间区间 T_{total} 内各种部件被使用的时间 T_{use} 所占百分比。

⑬ 系统配置和系统负载 IT_{config}

$IT_{config} \in (0,1)$ ；综合评价系统的结构、调度策略、工作方式等；它是以上所有指标的基础；可以采用定性分析方法和 Benchmarking 方法对 IT_{config} 赋值。

因此，包含 NS 的 SOBP 的性能度量指标在业务层可以包括时间、成本、可靠性、柔韧性和组织关联性五个方面。

对于企业内的 NS，SOBP 还可以对其 IT 系统配置和系统负载、IT 资源利用率、IT 可靠性、系统组织关联性、系统灵活性、系统有效性、系统响应时间和系统吞吐率进行度量和优化，这样可以提高其服务质量。

而外部 NS 的这些属性对 SOBP 来说则是透明的；而且从服务使用者的角度来看，SOBP 可以对外部 NS 的 ASAT 按一定要求进行选择，但一般并不关心它的 TIAT。

总体上可以认为，SOBP 的虚拟服务在匹配和选择阶段对具体物理服务进行选择时将主要依据 BAT 和 ASAT，而在服务选定后的流程执行阶段将主要考虑 BAT 属性。

4 SOBP 的性能计算

4.1 基于 AHP 的性能模糊综合评价

在 NS 性能度量指标方案的选择及其具体值的确定过程中，人的主观比较和判断行为比较突出，这些定性评价和定性比较为主的评价方法容易导致评价的片面性。基于层次分析法 (AHP) 的模糊综合评价方法将定性指标合理的转换为定量指标，把定性指标与定量指标、主要指标与次要指标有机的结合起来，并通过 AHP 确定各性能度量指标的权重，实现对服务的综合评价。

Step 1: 确定服务的性能评价指标集

将NS的各项属性编号记为 k ，相应的权重记为 w_k ($1 \leq k \leq K$, K 表示用户设定的性能属性总数)；设SOBP包含 n 个活动，其中有 m 个NS型活动（即虚拟服务ASV）；并设每个虚拟服务 ASV_i ($1 \leq i \leq m$) 有 p_i 个物理服务 PSV_{ij} ($1 \leq j \leq p_i$)，则第 i 个虚拟服务的性能指标 P_i 可以用一个二维矩阵表示，

$$P_i = (P_{i,j}^k; 1 \leq j \leq p_i, 1 \leq k \leq K) \quad (1)$$

其第 j 个物理服务的性能指标 $P_{i,j}$ 为一向量：

$$P_{i,j} = (P_{i,j}^k; 1 \leq k \leq K) \quad (2)$$

类似的，可以对人工型活动和应用系统型活动 A_i 的性能进行描述，其性能指标 P_i 可以用一个 \bar{K} (\bar{K} 是 A_i 的属性个数) 维向量表示为：

$$P_i = (P_i^k, 1 \leq K \leq \bar{K}) \quad (3)$$

Step 2: 基于 AHP 确定各性能指标的权重集

首先采用两两比较的方法对服务性能指标的轻重进行标

度^[19]；然后建立判断矩阵 A ，求解其特征向量并进行标准化得到权重集 W ，并验证其计算一致性指标 C_I ^[19]。

Step 3: 确定模糊关系和模糊综合评价模型

将 (2) 中的每一个指标 $P_{i,j}^k$ ($1 \leq k \leq K$) 获得模糊评语集 V

中的每一个评语 v_l ($1 \leq l \leq m$) 的可能程度记为 r_{kl} 可以得到从 P_{ij} 到 V 的一个模糊关系矩阵：

$$R = \{r_{kl}, 1 \leq k \leq K, 1 \leq l \leq m\} \quad (4)$$

根据 $B=WR=\{b1,b2,\dots,bm\}$ 的值可以对 ASV_i 的物理服务按照综合性能的优劣排序，并假设它取前 U_i ($1 \leq U_i \leq p_i$) 个 PSV_{ij} 作为SOBP的候选物理服务

因此，在不考虑某个 ASV_i 以不同概率同时选择多个 PSV_{ij} 的情况下，SOBP可能的组成结构方案数 N 为：

$$N = \prod_{i=1}^m U_i \quad (5)$$

4.2 SOBP 的性能等价计算

当 (5) 中的每一个 ASV_i 都确定地选择了一个 PSV_{ij} 后，就形成了SOBP的一个组成方案 $SOBP_s$ ，显然 $1 \leq s \leq N$ 。SOBP_s的性能不仅与所选取的服务的综合性能有关，还与它的结构有关。

SOBP 的结构主要有四种，分别为串行、并行、选择和循环，其中循环结构可以分解为前三种结构，因此本文将给出前三种结构的性能等价计算公式。

可以把SOBP_s中的所有活动统一表示为 A_i ($1 \leq i \leq n$)，并用 P_i^k 表示 A_i 的第 k 项性能， v_i 是选择结构中某个活动执行的概率且 $\sum v_i=1$ ，可以通过历史记录确定 v_i 的值。

设 O_i 表示 A_i 所属的组织， OR_{ij} 表示组织 O_i 和 O_j 之间的关联关系。则SOBP所有活动的组织两两之间的关联关系可用矩阵 $OR=(OR_{ij})_{m \times n}$ 表示，活动 A_i 的组织关联度

$$P_i^s = \prod_{j=1}^n OR_{ij} \quad (6)$$

这样就可以对 SOBP_s 各种结构的第 k 项性能 P_s^k 进行等价计算。

(I) 若 n 个活动串行，则 SOBP_s 的第 k 项性能等价为：

$$P_s^k = \begin{cases} \prod_{i=1}^n P_i^k, & k=1,4; \\ \sum_{i=1}^n P_i^k, & k=2,3; \\ \sum_{i=1}^n P_i^k / n, & k=5. \end{cases} \quad (7)$$

(II) 若 n 个活动并行，则 SOBP_s 的第 K 项性能等价为：

$$P_s^k = \begin{cases} \min_{i=1}^n \{P_i^k\}, & k=1; \\ \max_{i=1}^n \{P_i^k\}, & k=2; \\ \sum_{i=1}^n P_i^k, & k=3; \\ \prod_{i=1}^n P_i^k, & k=4; \\ \sum_{i=1}^n P_i^k / n, & k=5. \end{cases} \quad (8)$$

(III) 若 n 个活动是选择结构, 则 $SOBPs$ 的第 k 项性能等价:

$$P_s^k = \sum_{i=1}^n v_i P_i^k, \quad k=1,2,3,4,5. \quad (9)$$

由于 $SOBPs$ 的业务可靠性 P_s^1 、业务柔性 P_s^4 和业务组织关联度 P_s^5 反映的是业务过程的结构属性, 因此可以采用公式(7)-(9)计算得到该方案的这些性能。

4.3 基于系统仿真的 SOBP 性能计算

$SOBPs$ 的性能还受到服务和其他类型活动执行时所必须的企业组织、资源、人员、业务规则等约束的影响。

因此, 只有把选定的服务放到整个业务过程中进行多次的仿真运行, 才能依据仿真结果分析所选择的服务是否与企业预期的时间、成本、组织结构设置、资源利用率、人员安排、生产计划等相匹配。

采用清华大学开发的 $CIMFlow^{[20]}$ 企业建模与仿真工具对 $SOBP$ 的模型进行性能计算的主要任务, 是为原有的各个活动添加业务可靠性 $Reli_{busi}$ 、业务柔性 $Flex_{busi}$ 和业务组织关联度 $Org_{relation}$ 等属性; 并在原有工具中添加服务建模组件 NS: 它的性能属性默认的包括本文中的①—⑬, 根据用户需要还可以自行扩展, 各个属性的权重可以采用 AHP 算法确定, 属性的分布 (如确定值、正态分布、平均分布、指数分布等) 及其参数也可以在工具中灵活配置, 供 $SOBP$ 性能仿真计算时使用。

$SOBPs$ 模型在业务过程仿真引擎的推动下, 逐个扫描 $SOBPs$ 的所有活动 A_i , 依据公式(7)-(9)对 $SOBPs$ 的业务时间 P_s^2 和业务成本 P_s^3 性能进行计算, 同时记录仿真过程中的资源利用率、各个活动的性能指标统计结果。

由于有些性能是增量型的, 即其值越高, 性能越好, 如可靠性 $Reli_{busi}$; 有些是减量型, 如成本 $Cost_{busi}$; 因此需要对它们进行统一量化。可以对 (2) 中的 $P_{i,j}^k$, 增量型的性能指标采用式(10), 减量型的采用式 (11) 分别进行统一量化计算, 并采用式(12)进行加权计算。同样的可以对(3)中的 P_i^k 和(7)-(9)中的 P_s^k 进行统一量化和加权计算。

$$U(P_{i,j}^k) = \begin{cases} \frac{P_{i,j}^k - \min_{l=1}^{P_i} (P_{i,l}^k)}{\max_{l=1}^{P_i} (P_{i,l}^k) - \min_{l=1}^{P_i} (P_{i,l}^k)}, & \max_{l=1}^{P_i} (P_{i,l}^k) - \min_{l=1}^{P_i} (P_{i,l}^k) \neq 0; \\ 1, & \max_{l=1}^{P_i} (P_{i,l}^k) - \min_{l=1}^{P_i} (P_{i,l}^k) = 0 \end{cases} \quad (10)$$

$$U(P_{i,l}^k) = \begin{cases} \frac{\max_{l=1}^{P_i} (P_{i,l}^k) - P_{i,l}^k}{\max_{l=1}^{P_i} (P_{i,l}^k) - \min_{l=1}^{P_i} (P_{i,l}^k)}, & \max_{l=1}^{P_i} (P_{i,l}^k) - \min_{l=1}^{P_i} (P_{i,l}^k) \neq 0; \\ 1, & \max_{l=1}^{P_i} (P_{i,l}^k) - \min_{l=1}^{P_i} (P_{i,l}^k) = 0 \end{cases} \quad (11)$$

$$U(P_{i,u_i}) = \frac{\sum_{k=1}^K w_k U(P_{i,u_i}^k)}{\sum_{k=1}^K w_k}, \quad (12)$$

这里 $1 \leq u_i \leq U_i, 1 \leq U_i \leq p_i, 1 \leq i \leq m$ 。

这样, 通过对不同方案性能的计算和仿真, 最终得到 (5) 中所有 $SOBPs$ 方案的综合性能 P_s , 其最大值 $M = \max\{P_s\}$ 所对应的业务过程方案 $SOBP_M$ 就是这种评价下的最佳选择。

5 案例分析

图 2 描述了一个典型的制造企业在供应链范围的 $SOBP$ 模型: 制造商 (1) 从供应商订购零件; (2) 生产出成品; (3) 为客户提供满意的产品。

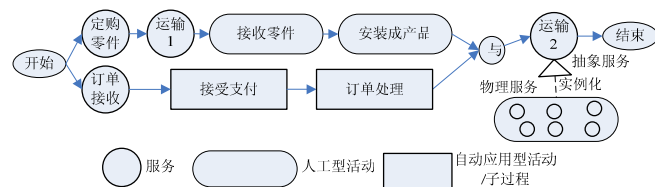


图 2 面向服务的业务过程模型

1、物理服务的初步选择

服务“运输 2”有六个物理服务, 主要关注其性能指标中的①②③⑥⑦五项, 即其性能评价指标集 $P_i = \{\text{业务可靠性, 业务时间, 业务成本, 系统响应时间, 系统有效性}\}$; 模糊评语集 $V = \{\text{好, 中, 差}\}$; 判断矩阵:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 1/3 & 2 & 3 \\ 2 & 1 & 1/3 & 5 & 9 \\ 3 & 3 & 1 & 5 & 7 \\ 1/2 & 1/3 & 1/5 & 1 & 5 \\ 1/3 & 1/9 & 1/7 & 1/5 & 1 \end{bmatrix}$$

通过计算得以上五个性能指标的权重集 $W = (0.1348, 0.2802, 0.4507, 0.0980, 0.0363)$ 。

综合分析六个物理服务的评价意见后得到它们的评价结果如表 1 所示, 由此可以得到各个服务的模糊关系矩阵。例如对 S1 得:

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.3 & 0.1 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 \\ 0.3 & 0.5 & 0.2 \\ 0.1 & 0.5 & 0.4 \\ 0.6 & 0.2 & 0.2 \end{bmatrix}$$

计算得到服务 S1 的评价结果为：

$$B_1 = (0.3878 \quad 0.4341 \quad 0.1781),$$

即对 S1 有 38.78% 的评价为“好”，43.41% 的评价为“中”，17.81% 的评价为“差”。

类似的可得 S2-S6 的评价结果：

$$B_2 = (0.4594 \quad 0.2964 \quad 0.3095)$$

$$B_3 = (0.6280 \quad 0.1745 \quad 0.1975)$$

$$B_4 = (0.7119 \quad 0.1856 \quad 0.2789)$$

$$B_5 = (0.5648 \quad 0.2486 \quad 0.1866)$$

$$B_6 = (0.2488 \quad 0.4524 \quad 0.2988)$$

因此可以对六个服务的性能排序为

$B_4 > B_3 > B_5 > B_2 > B_1 > B_6$ ，若要求评价值大于 0.5，则可以取 S4、

表 1 各服务的性能评价结果

S \ Pi	业务可靠性			业务时间			业务成本			系统响应时间			系统有效性		
	好	中	差	好	中	差	好	中	差	好	中	差	好	中	差
S1	0.6	0.3	0.1	0.5	0.4	0.1	0.3	0.5	0.2	0.1	0.5	0.4	0.6	0.2	0.2
..... (略)															
S6	0.5	0.4	0.1	0.3	0.5	0.2	0.1	0.5	0.4	0.2	0.3	0.5	0.9	0.1	0

S3、S5 作为 SOBP 中虚拟服务“运输 2”的可选物理服务。

2、SOBP 性能计算与仿真

图 2 中的服务“定购零件”和“运输 1”都确定了其物理服务，而“运输 2”的物理服务则从 S4、S3、S5 中选择一个。因此 SOBP 有三种实现方案：即活动 1-7 分别和服务 S3（方案 1）、S4（方案 2）和 S5（方案 3）的组合。假设各活动所属组织间的关联度矩阵和活动的属性如表 2、表 3 所示。其中表 3 的各个活动在不同的 SOBP 实现方案中的业务组织关联度是按式（6）计算得到的。

各方案的业务可靠性、业务柔性和组织关联度根据式 (7)-(9) 分别计算得到（见表 4）。而业务时间、成本和资源利用率则采用系统仿真的方法计算。仿真环境设置为每日工作 8 小时，每周工作 5 天。SOBP 不同方案下的过程周期时间和资源利用率仿真结果如表 4 所示。

综上所述，SOBP 不同方案性能指标的计算和仿真结果如表 4 所示，其指标权重集 $W_p = (0.1348 \quad 0.0802 \quad 0.2107 \quad 0.2345 \quad 0.2431 \quad 0.0967)$ ，结合式(10)-(12)统一量化后计算得到各方案的综合性能为 $(P_1, P_2, P_3) = (0.0642, 0.1089, 0.1385)$ ，表明

表 2 SOBP 各活动所属组织间的关联度

O _{ij}	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	O ₅	O ₆	O ₇	O ₈	O ₉	O ₁₀
O ₁	1	0.6	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.6	0.5	0.4
..... (略)										
O ₁₀	0.4	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	-	-	1

表 3 图 2 中 SOBP 各活动的属性

A _i \ P _i	业务可靠性	业务时间	业务成本	业务柔性	组织关联度			
					S ₃	S ₄	S ₅	
定购零件①	0.9	30-50	200	4	0.212576	0.177147	0.141718	
..... (略)								
运输 2	S ₃ ⑧	0.85	200-260	1000	6	0.058825	-	-
	S ₄ ⑨	0.95	300-380	1200	8	-	0.212576	-
	S ₅ ⑩	0.90	300-380	1400	10	-	-	0.212576

表 4 SOBP 不同方案性能的计算和仿真结果

SOBP _i \ P _i	业务可靠性	业务时间	业务成本	业务柔性	业务关联度	总资源利用率	综合性能
方案 1/S ₃	0.6885	6608.8	6700	96	0.3319	4.34	0.0642
方案 2/S ₄	0.7695	6563.7	6900	128	0.3491	3.91	0.1089
方案 3/S ₅	0.7290	6605.3	7100	160	0.4214	4.38	0.1385

各方案的综合性能优劣排序为 P3 (S5) > P2 (S4) > P1 (S3)，即采用服务 S5 的方案 SOBP₃ 的综合性能最佳，其具体性能指标

值如表 4 所示。

6 结论

本文从服务的视角分析了服务 *NS* 与企业战略/业务、应用系统和 IT 基础设施的关系, 提出了 *SOBP* 的性能度量指标及其基于 AHP 和系统仿真的计算方法。

基于本文提出的方法, 借助业务过程仿真工具, 结合实际业务过程中的组织、资源、人员、业务规则等约束, 可以对包含服务的 *SOBP* 的业务性能进行计算或仿真, 得到业务可靠性、柔性、组织关联度、业务时间、成本、资源利用率等性能数据, 以综合评价 IT 对业务性能的影响, 指导业务过程对服务的选择, 为企业信息化规划、业务过程优化和企业间协同等工作的开展提供可信的决策依据。

参考文献:

- [1] FOSTER I, KISHIMOTO H, SAVVA A., et al. The Open Grid Services Architecture. [EB/OL] [2007-02-18] <http://www.gridforum.org/documents/GWD-I-E/GFD-I.030.pdf>.
- [2] SIEW P L, LAI P C, ENG W L. Web Services implementation Methodology for SOA Application: IEEE International Conference on Industrial Informatics, 2006[C]:335-340.
- [3] BRAEM M, JONCHEERE N, VANDERPERREN, W. et al. Guiding Service Composition in a Visual Service Creation Environment: ECOWS '06, 4th European Conference on Web Services, 2006[C]:13-22.
- [4] CHEUNG W.K., LIU J M, KEVIN H, et al. Dynamic Resource Selection For Service Composition in The Grid: IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence, 2004[C]:412-418.
- [5] RICARDO J G, ANTONIO G, ADOLFO S G. Challenging the interoperability between computers in industry with MDA and SOA [J]. *Computers in Industry*, 2006(8): 679-689
- [6] Qi X, ROBIN G Q, XU F Y. Integration of Web Services and Agents for Supply Chain System Collaboration: IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2004 [C]:2079-2083.
- [7] GUO J Y, LIU J, QIU L. Research on Supply Chain Performance Evaluation Based on DEA/AHP Model: IEEE Asia-Pacific Conference on Services Computing, 2006[C]. 609-612.
- [8] Supply Chain Council. Supply-Chain Operations Reference-model (SCOR) V7.0 Overview [EB/OL]. [2007-02]<http://moodle.fhso.ch/mod/resource/view.php?inpopup=true&id=747>.
- [9] 肖志娇, 常会友, 衣杨. 工作流性能分析[J]. *计算机集成制造系统*, 2006 (8): 1284-1287.
- [10] LI Jianqiang, FAN Yushun, ZHOU Mengchu. Performance modeling and analysis of workflow [J]. *Systems, Man, and Cybernetics*, 2004(2):229-242.
- [11] 郑彦琳, 范玉顺, 赵斌. 基于作业成本法的工作流模型性能分析研究[J]. *工业工程与管理*, 2006 (2): 83 - 86.
- [12] CARDELLINI V, CASALICCHIO E, VINCENZO G, et al. A Framework for Optimal Service Selection in Broker-Based Architectures with Multiple QoS Classes: Services Computing Workshops, 2006[C]:105-112.
- [13] HU J Q, GUO C G, WANG H M, et al. Quality driven Web services selection e-Business Engineering: IEEE International Conference on ICEBE 2005[C]:681-688.
- [14] KALEPU S, KRISHNAWAMY S, LOKE S.W. Verity: a QoS metric for selecting Web services and providers: Fourth International Conference on Web Information Systems Engineering Workshops, 2003[C]:131-139.
- [15] 代钰, 杨雷, 张斌, 等. 支持组合服务选取的QoS模型及优化求解[J]. *计算机学报*, 2006 (7): 1167-1178.
- [16] CHEN S P, YAN B, ZIC J, et al. Evaluation and Modeling of Web Services Performance. International Conference on Web Services, 2006[C]: 437-444.
- [17] NEWCOMER E, LOMOW G. Understanding SOA with Web Services[M]. 徐涵, 译. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [18] The Open Group. TOGAF8.1[EB/OL]. (2003) [2006-11-16] <http://www.opengroup.com/>.
- [19] 李伟, 陈雄鹰. 企业IT战略与决策[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [20] 范玉顺. 集成化企业建模方法与系统[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007. 2.