

# 需求不确定性下 IT 服务外包合同设计与分析<sup>①</sup>

张宗明, 廖貅武, 刘树林

(西安交通大学管理学院, 过程控制与效率工程教育部重点实验室, 西安 710049)

**摘要:** IT 服务业务环境和技术环境的不确定性往往会引起服务需求的不确定性. 针对 IT 服务外包中的需求不确定性问题, 运用委托代理理论设计了不同需求环境下的合同, 比较分析了固定价格合同、时间材料合同和收益共享合同的系统收益. 研究表明: 在需求确定的情形下, 3 种合同的系统收益水平是无差异的, 都可达到整合供应链下的系统最优收益水平; 在需求不确定的情形下, 固定价格合同无法达到整合供应链下的系统最优收益水平, 而其它合同形式可以达到, 并且其它合同与固定价格合同的系统收益之差随着需求不确定性的增大而增大. 最后, 通过对需求为连续分布和离散分布时的算例分析, 验证并拓展了相关结论.

**关键词:** IT 服务外包; 需求不确定性; 委托代理理论; 合同设计

**中图分类号:** F272.3   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1007-9807(2013)02-0046-14

## 0 引言

随着信息技术的飞速发展和全球化分工的深入, IT 服务外包成为企业降低成本、提高应变能力和优化核心竞争力的重要战略选择<sup>[1-4]</sup>. 然而, 服务外包在为企业提供机遇的同时, 伴随着很高的不确定性风险, Earl<sup>[5]</sup>指出业务不确定性和过时的技术是 IT 外包中重要的风险因素, Slaughterh 和 Ang<sup>[6]</sup>认为 IS 技能市场具有动态变化的特点, Mclellan 等<sup>[7]</sup>、Nam 等<sup>[8]</sup>、Ang 和 Cummings<sup>[9]</sup>、Poppo 和 Zenger<sup>[10]</sup>认为 IT 服务环境和技术环境具有高度不确定性, Klepper 和 Jones<sup>[3]</sup>认为 IT 服务外包的复杂性增加了准确预测未来状况的难度. 由于 IT 市场的波动性、信息技术的不确定性和内外部业务环境的变化, 使得客户企业的 IT 需求和服务供应商提供的服务都带有很大的不确定性<sup>[3, 6, 11-12]</sup>. Slaughterh 和 Ang<sup>[6]</sup>以及 Hull 等<sup>[12]</sup>指出技术变化、业务变化、市场变化和政策变化都会引起需求的变更, 致使实际需求偏离规定的需求. 如何有效地应对 IT 服务外包中的需求不确定性,

成为决定 IT 外包成功的重要因素<sup>[12-14]</sup>.

目前主要存在两种途径来缓解需求不确定性问题, 一种途径是在制定合同时充分考虑到需求的变化, 另一种途径是根据需求的变更重新谈判, 并更新合同<sup>[3, 15-25]</sup>. Aubert 等<sup>[26]</sup>指出后者可能产生昂贵的合同变更费用和争端诉讼费用, 致使 IT 服务外包失败. 本文研究的目的是在前一种途径下设计适当的合同来缓解需求的不确定性. 现有文献对 IT 服务外包中的需求不确定性问题的研究分为两个方面, 一方面是从合同应用的角度进行实证研究, 另一方面是从合同设计的角度进行理论研究. 在实证研究方面, 主要研究集中于 IT 管理者面对需求不确定的环境时, 应该采用什么样的合同, 如何在合同的灵活性与严密性之间进行权衡<sup>[3, 15-21]</sup>. Klepper 和 Jones<sup>[3]</sup>、Michell 和 Fitzgerald<sup>[15]</sup>从外包关系的角度, 对需求不确定性和合同进行了分析, 将外包关系分为市场型关系、中间型关系和伙伴型关系. 在市场型外包关系中, 环境和需求是稳定的, 合同期内没有任何内部或者外部环境的变化改变这些需求, 这种情形下签

① 收稿日期: 2012-07-11; 修订日期: 2012-09-05.

基金项目: 国家自然科学基金重大资助项目(70890081).

作者简介: 张宗明(1983—), 男, 江苏徐州人, 博士生. Email: zhang.zongming@stu.xjtu.edu.cn

订的合同可以采用固定费用的形式;在中间型和伙伴型外包关系中,需求无法在签订合同时明确拟定,在合同期内会随着环境变化而变化并且无法完全预知,这时可以采用灵活性较高的合同。众多学者从合同的灵活性和不确定性匹配的角度研究了各种合同的适用性。Kern等<sup>[16]</sup>指出,固定价格合同缺乏灵活性,可能对缔约双方不利,而灵活的合同,如时间材料合同和收益共享合同能帮助客户和服务商避免“赢家的诅咒”。Currie和Willcocks<sup>[17]</sup>认为,合同的灵活性与客户企业面临的需求、环境的不确定性是有关系的,不确定性要求客户企业在外包合同安排上具有更大的灵活性,IT管理者应该采取更加宽松灵活的合同而非严密的合同。Clark等<sup>[18]</sup>与McFarlan和Nolan<sup>[19]</sup>认为,灵活性是外包成功的主要因素,强调应该采用富有弹性的合同或者在合同期内进行弹性建设,以应对技术、经济条件、竞争环境以及需求的变化。Sadeh等<sup>[20]</sup>认为,当项目不确定程度很高时,客户企业往往愿意接受时间材料合同从而保证项目顺利实施,当不确定性很低时,固定支付合同可能更适合。Gopal等<sup>[21]</sup>指出,规模越大、需求不确定性越高的项目越有可能采用时间材料合同。

在合同理论研究方面,主要研究集中于软件开发外包领域,针对客户企业不明确软件需求的问题,研究如何界定需求。目前的方法为采用两阶段调整合同,两阶段分别为原型设计阶段和软件开发阶段,其中原型设计阶段的目的是明确客户的需求<sup>[11, 22-25]</sup>。Dey等<sup>[11]</sup>通过在原型设计阶段和软件开发阶段分别采用固定价格合同和基于绩效的合同,来达到系统的最优收益水平。Jayanth等<sup>[25]</sup>考虑了软件开发商提供不合理原型的道德风险和客户提供较低反馈努力的承诺问题,在原型设计阶段提供了能够激励软件开发商提供合理原型和客户付出高反馈努力的合同。

虽然IT服务外包中的需求不确定性问题业已得到诸多研究,但是这些研究仍存在一些不足。

在合同应用的实证研究方面,学者们进行的大都是描述性的研究,虽然结论清晰直观,但是缺乏合同设计上严谨的理论支持;在合同设计的理论研究方面,现有的研究都是针对软件开发外包中的不确定性问题,而这种问题可以通过采纳软件开发特有的原型设计方法来缓解,很难完全适用于其它IT服务,并且这些研究针对的是合同签订阶段客户企业对需求不太明确的问题,没有考虑到合同实施阶段中的服务需求变更问题。鉴于此,本文从IT服务外包的环境特点出发,针对IT服务外包实施过程中产生的需求不确定性问题,运用委托代理理论,研究需求不确定情形下的各种合同的适用情况,为需求不确定性环境下的IT服务外包合同设计提供理论支持。

## 1 模型假设与变量设计

本文考虑1个客户企业和1个服务供应商构成的IT服务外包供应链,客户企业将IT服务外包给服务供应商。双方行动顺序为:

1) 缔约阶段 客户企业依据业务需求和目标提供合同,服务供应商根据合同计算期望收益,若期望收益大于其保留效用,则接受合同,否则,将拒绝合同;

2) 实施阶段 服务供应商若接受合同,则按照合同的要求进行生产要素投入,提供服务。生产要素投入包含两个方面,能力水平的投入和努力程度的投入,其中,能力水平的投入指服务商为保证外包业务的完成进行的相关技术、设施、培训和管理水平等的投入,努力水平的投入指服务商针对服务项目的规模进行的时间与精力投入;

3) 支付阶段 完成服务提供、实现服务项目价值后,客户企业依据合同向服务供应商支付服务费用。上述IT服务外包过程为两阶段博弈,第1阶段客户企业设计支付合同,第2阶段服务供应商依据合同进行生产要素投入。博弈时序图如下所示。

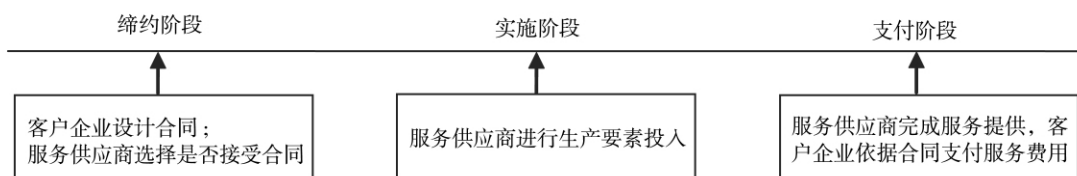


图1 IT服务供应链双方博弈时序图

Fig. 1 Timing of contract in IT service supply chain

假设 1 客户企业将 IT 业务外包给服务供应商,服务产出用服务项目价值表示.服务项目价值是服务供应商能力水平和努力程度的柯布—道格拉斯函数

$$V = V(a, e) = \xi a^\alpha e^\beta, \\ \xi > 0, \alpha, \beta > 0, \alpha + \beta = 1$$

式中  $a$  表示服务供应商的能力水平,指服务供应商具备的服务外包项目所要求的运作能力,服务供应商可根据项目实际情况来增加或者减少技术、设施规模、人力培训与管理水平的投入,从而影响其运作能力; $e$  表示服务供应商的努力程度,指服务人员在服务项目上投入的时间和精力等<sup>[13]</sup>;  $V$  表示服务项目价值,体现了服务供应商所提供服务的绩效水平;

参数  $\alpha$  和  $\beta$  分别表示服务项目价值对服务供应商能力水平和努力程度的敏感系数.  $\alpha$  较大 ( $\alpha > 1/2$ ) 表示服务项目对能力要求较高,如创新服务外包、知识流程外包和行业解决方案的提供等高层次的外包业务;  $\alpha$  较小 ( $\alpha < 1/2$ ) 表示服务项目对能力要求较低,如数据转换、编码等低层次的外包业务;  $\alpha$  与  $\beta$  相当时 ( $\alpha$  接近  $1/2$ ) 表明服务项目对能力要求适中,如呼叫中心等业务流程外包业务.  $\beta$  的含义与  $\alpha$  相反;

$\alpha^\alpha e^\beta$  表示服务水平、服务质量,由服务供应商的能力水平和努力程度决定.服务对于客户企业的价值  $V$  随服务水平的提高而提高;

$\xi$  为产出系数,表示客户企业对服务所带来价值的评价,表达了客户企业对服务功能性、复杂性和服务规模的需求,服务越复杂、服务规模越大 ( $\xi$  越高),服务项目的价值  $V$  越大.同 Dey 等<sup>[11]</sup> 的模型一致,本文用  $\xi$  来衡量需求.

服务项目价值函数的性质如下:

1)  $V(a, 0) = V(0, e) = 0$ , 表示当服务供应商不具备服务能力或者努力程度为 0 时,服务项目价值为 0;

2)  $\frac{\partial V}{\partial a} > 0, \frac{\partial V}{\partial e} > 0, \frac{\partial^2 V}{\partial a^2} < 0, \frac{\partial^2 V}{\partial e^2} < 0$ , 表示服务项目的价值随能力、努力程度的增加而增加,并满足边际递减规律;

3)  $\frac{\partial^2 V(a, e)}{\partial a \partial e} > 0$ , 表示服务商的能力水平和努力程度是互补的关系,提高能力水平能够增加

努力程度的边际产出.

假设 2 服务供应商的生产要素投入由能力水平  $a$  的投入和努力程度  $e$  的投入构成.服务供应商的能力成本函数和努力成本函数分别为  $C(a)$  和  $C(e)$ ,  $C(a) = \frac{1}{2}c_a a^2, C(e) = \frac{1}{2}c_e e^2$ .  $c_a$  与  $c_e$  为成本系数.

服务供应商能力投入和努力投入成本函数满足成本递增和边际递增规律,即  $\frac{\partial C(a)}{\partial a} > 0, \frac{\partial C(e)}{\partial e} > 0, \frac{\partial^2 C(a)}{\partial a^2} > 0, \frac{\partial^2 C(e)}{\partial e^2} > 0$ .

假设 3 客户企业和服务供应商都是风险中性的,即效用与期望收益等价.

假设 4 服务项目价值函数、服务供应商的成本函数的各个参数都为共同知识.

鉴于研究对象和篇幅所限,本文不针对缔约成本、监督成本和绩效测度成本等因素进行特别分析.

## 2 模型构建与分析

针对 IT 需求的不确定性,本节运用委托代理理论分析 IT 服务外包中常见的 3 种合同类型:固定价格合同、时间材料合同和收益共享合同,探索不同合同类型对需求不确定性的适应情况.

在合约签订阶段,由于信息技术环境和业务环境的不确定性,造成客户企业 IT 需求的不确定性,使得客户企业无法给出明确的需求.在合同实施阶段,信息技术和业务需求的变化是可以观测的,服务供应商能够在遵循合同的基础上,根据需求的变更来选择符合其期望收益最大化的生产要素投入.在 IT 需求的不确定性情形下,需求  $\xi$  是随机变量,在需求确定情形下  $\xi$  为常量.需求不确定情形下,在缔约阶段  $\xi$  是无法准确预知的,在实施过程中  $\xi$  的变化可以观测到.本文利用需求的方差  $\text{Var}[\xi]$  来衡量不确定性的大小.为考察不确定性大小的影响,固定其均值而变动其方差,即  $E[\xi] = u, \xi > 0$ .此时,服务项目价值为

$$V(a, e) = \xi(a(\xi))^\alpha (e(\xi))^\beta$$

式中  $a(\xi)$  和  $e(\xi)$  分别表示服务供应商在实施阶段,根据观测到的需求  $\xi$  进行能力水平  $a$  和努力程

度  $e$  的投入, 即  $a$  和  $e$  是  $\xi$  的函数.

假定  $\psi(\xi)$  表示需求不确定情形下客户企业对服务供应商的合同支付, 服务供应商的期望收益为

$$E[\pi_s(\xi)] = E[\psi(\xi) - C(\xi)] \\ = E[\psi(\xi) - c_a(a(\xi))^2/2 - c_e(e(\xi))^2/2] \quad (1)$$

相应地, 客户企业的期望收益为

$$E[\pi_B(\xi)] = E[V(\xi) - (\psi(\xi))] \\ = E[\xi(a(\xi))^\alpha(e(\xi))^\beta - \psi(\xi)] \quad (2)$$

为更好的比较各种合同下的绩效水平, 将服务供应商和客户企业视作一个整体, 即整合供应链的情形. 集中决策下, 得到系统最优的能力水平、努力程度和系统收益. 整合供应链下的系统收益为

$$E[\pi_1(\xi)] = E[\pi_s(\xi) + \pi_B(\xi)] \\ = E[\xi(a(\xi))^\alpha(e(\xi))^\beta - c_a(a(\xi))^2/2 - c_e(e(\xi))^2/2]$$

优化问题如下式

$$\max_{a(\xi), e(\xi)} E[\xi(a(\xi))^\alpha(e(\xi))^\beta - c_a(a(\xi))^2/2 - c_e(e(\xi))^2/2] \quad (3)$$

对此优化问题求解可得命题 1. (命题 1 的证明参见附录 A)

**命题 1** 整合供应链下系统最优能力水平和努力程度分别为

$$a_1(\xi) = \xi(\alpha/c_a)^{(2-\beta)/2}(\beta/c_e)^{\beta/2}, \\ e_1(\xi) = \xi(\alpha/c_a)^{\alpha/2}(\beta/c_e)^{(2-\alpha)/2}$$

系统最优收益为

$$E[\pi_1(\xi)] = E[\xi^2](\alpha/c_a)^\alpha(\beta/c_e)^\beta/2$$

系统最优能力水平和努力程度的比较静态分析如表 1 所示.

由表 1 可知: 1) 当服务需求较高时, 服务项目需要较高的能力和努力投入; 2) 当服务成本较高时, 会导致服务供应商降低能力和努力的投入, 能力成本较高致使努力投入较低, 这是由能力水平和努力程度的互补特性决定的, 较高的能力成本会导致较低的能力投入, 这会引起努力投入的边际收益递减, 从而降低努力的投入, 同样的, 努力成本较高也会致使能力投入较低; 3) 当能力成本相对较低时 ( $c_a/c_e \leq e^2(\xi)$ ),

系统最优能力投入会随着能力重要性的提高而提高, 而当能力成本相对较高时 ( $c_a/c_e > e^2(\xi)$ ), 系统最优能力投入与能力重要性的关系会展现出与直觉不一致的特点(直觉上, 能力重要性越高, 则能力投入就越高).  $0 < \alpha < 1/2$ , 即能力重要性低于努力重要性时, 能力投入会随着能力重要性的提高先增后减;  $1/2 \leq \alpha < 1$ , 即能力的重要性较高时, 能力的投入随着能力重要性的提高先减后增, 造成与直觉不一致结论的原因在于能力投入与努力投入是相互补充的关系而不是相互替代的关系. 努力投入与努力成本的关系会展现出同样的特点.

表 1 系统最优变量的比较静态分析

Table 1 Comparative statics of the first-best solution

参数	$a_1(\xi)$	$e_1(\xi)$
$\xi$	+	+
$c_a$	-	-
$c_N$	-	-
$\alpha$	若 $c_a/c_e \leq e^2(\xi)$ , + 若 $c_a/c_e > e^2(\xi)$ , ① $1/2 \leq \alpha < 1$ 时, - 后 +; ② $0 < \alpha < 1/2$ 时, + 后 -	若 $c_e/c_a \leq e^2(\xi)$ , - 若 $c_e/c_a > e^2(\xi)$ , ① $1/2 \leq \alpha < 1$ 时, + 后 -; ② $0 < \alpha < 1/2$ 时, - 后 +
$\beta$	若 $c_a/c_e \leq e^2(\xi)$ , - 若 $c_a/c_e > e^2(\xi)$ , ① $1/2 \leq \beta < 1$ 时, + 后 -; ② $0 < \beta < 1/2$ 时, - 后 +	若 $c_e/c_a \leq e^2(\xi)$ , + 若 $c_e/c_a > e^2(\xi)$ , ① $1/2 \leq \beta < 1$ 时, - 后 +; ② $0 < \beta < 1/2$ 时, + 后 -

注: “+”表示变量  $a_1(\xi)$   $e_1(\xi)$  对参数的导数大于 0, “-”表示导数小于 0.

### 2.1 固定价格合同

固定价格合同指在服务供应商按规定要求完成服务项目后, 客户企业以确定的费用进行支付. 规定要求一般是指服务水平要求、服务项目绩效要求、服务项目价值要求等<sup>[19]</sup>. 用  $M$  表示服务项目绩效要求, 用  $F$  表示合同支付, 则服务供应商的期望收益为

$$E[\pi_s(\xi)] = E[F(V(\xi) \geq M) - c_a(a(\xi))^2/2 - c_e(e(\xi))^2/2]$$

客户企业的期望收益

$$E[\pi_B(\xi)] = E[V(\xi) - F(V(\xi) \geq M)]$$

式中  $F(V(\xi) \geq M)$  表示只有当  $V(\xi) \geq M$  时, 服

务供应商才能获得  $F$ . 在固定价格合同下, 客户企业的问题是确定项目绩效要求  $M$  和合同支付  $F$ , 服务供应商的问题是在给定合同下选择其期望收益最大化的能力和努力投入水平. 客户企业的优化问题如 P1 所描述.

**P1**

$$\begin{aligned} \max_{F, M} & E[\xi(a(\xi))^\alpha(e(\xi))^\beta - \\ & F(\xi(a(\xi))^\alpha(e(\xi))^\beta \geq M)] \\ \text{s. t. } & E[\xi(a(\xi))^\alpha(e(\xi))^\beta - \\ & F(\xi(a(\xi))^\alpha(e(\xi))^\beta \geq M)] \geq U_B \quad (\text{IR}_B) \\ & E[F(\xi(a(\xi))^\alpha(e(\xi))^\beta \geq M) - \\ & c_a(a(\xi))^2/2 - c_e(e(\xi))^2/2] \geq U_s \quad (\text{IR}_s) \\ a_F(\xi) \quad e_F(\xi) = & \arg \max_{a(\xi), e(\xi)} \{ F(\xi(a(\xi))^\alpha \times \\ & (e(\xi))^\beta \geq M) - c_a(a(\xi))^2/2 - \\ & c_e(e(\xi))^2/2 \} \quad (\text{IC}_s) \end{aligned} \tag{4}$$

上述优化问题中, 式(4) 为客户企业的目标函数; 式(  $\text{IR}_B$  ) 为客户企业的参与约束, 其中  $U_B$  表示客户企业的保留效用, 指客户企业内包时所能得到的最大效用; 式(  $\text{IR}_s$  ) 为服务供应商的参与约束, 其中  $U_s$  表示服务供应商的保留效用, 指服务供应商不接受此合同时所能获得的最大效用; 式(  $\text{IC}_s$  ) 为服务供应商的激励相容约束, 表示在给定合同的情况下服务供应商的最优投入决策.

优化问题 P1 的均衡解如命题 2 所表述. ( 证明过程参见附录 B )

**命题 2** 在需求不确定的情形下, 满足  $U_B + U_s \leq E[\pi_F(\xi)]$  时, 合同(  $F, M$  ) 和服务供应商的能力水平、努力程度(  $a_F(\xi), e_F(\xi)$  ) 构成纳什均衡. 合同形式为

$$F = \begin{cases} (\alpha/c_a)^\alpha (\beta/c_e)^\beta \times \\ (E[\xi^{-2}])^{-1}/2 + U_s & \text{若 } V \geq M \\ 0 & \text{若 } V < M \end{cases}$$

其中

$$M = \frac{\alpha}{c_a} \left( \frac{\alpha c_e}{\beta c_a} \right)^{(-\beta)} (E[\xi^{-2}])^{-1}$$

服务供应商的能力水平和努力程度分别为

$$a_F(\xi) = (\xi E[\xi^{-2}])^{-1} \left( \frac{\alpha}{c_a} \right)^{(2-\beta)/2} \left( \frac{\beta}{c_e} \right)^{\beta/2},$$

$$e_F(\xi) = (\xi E[\xi^{-2}])^{-1} \left( \frac{\alpha}{c_a} \right)^{\alpha/2} \left( \frac{\beta}{c_e} \right)^{(2-\alpha)/2}$$

系统期望收益为

$$E[\pi_F(\xi)] = \frac{1}{2} (E[\xi^{-2}])^{-1} \left( \frac{\alpha}{c_a} \right)^\alpha \left( \frac{\beta}{c_e} \right)^\beta$$

由命题 2 可以看出, 固定合同有效采用的重要前提是服务项目绩效水平  $M$  可以在合同中明确地规定, 这就要求客户企业必须尽可能详细清楚地定义与测量服务绩效水平, 并拥有明确的质量标准和绩效指标<sup>[15 27]</sup>.

**2.2 时间材料合同**

时间材料合同指客户企业在有效观测服务供应商生产要素投入信息和项目进程的基础上, 按照工作所需的材料投入进行支付<sup>[11]</sup>. 在时间材料合同下, 服务供应商的能力投入和努力投入易于观测和监控, 客户企业能够掌握服务供应商的能力水平信息和努力程度信息, 所以, 客户企业能够在满足服务供应商保留效用的前提下, 强制服务供应商采取符合其期望收益最大化的行动, 也就是说, 实质上服务商将其决策权转移给了客户企业, 即由客户企业来决定服务供应商的能力和努力投入.

在时间材料合同中, 客户企业的支付为

$$T(\xi) = w + p(a(\xi))^2/2 + \rho(e(\xi))^2/2$$

式中  $w$  为固定部分,  $p(a(\xi))^2/2 + \rho(e(\xi))^2/2$  表示对服务供应商能力投入和努力投入的支付. 时间材料合同下的优化问题如 P2 所表述.

**P2**

$$\max_{p, \rho, w} E[\xi(a(\xi))^\alpha(e(\xi))^\beta - T(a(\xi), e(\xi))] \tag{5}$$

$$\text{s. t. } E[\xi a^\alpha e^\beta - T(a(\xi), e(\xi))] \geq U_B \quad (\text{IR}_B)$$

$$E[w + (p - c_a)(a(\xi))^2/2 + (\rho - c_e)(e(\xi))^2/2] \geq U_s \quad (\text{IR}_s)$$

$$\begin{aligned} a_T(\xi) \quad e_T(\xi) = & \arg \max_{a(\xi), e(\xi)} \{ \xi(a(\xi))^\alpha \times \\ & (e(\xi))^\beta - p(a(\xi))^2/2 - \\ & \rho(e(\xi))^2/2 - w \} \quad (\text{IC}_B) \end{aligned}$$

其中式(  $\text{IR}_B$  ) 为客户企业的参与约束, 式(  $\text{IR}_s$  ) 为服务商的参与约束, 式(  $\text{IC}_B$  ) 为客户企业的激励相容约束. 时间材料合同下, 服务商将投入的决策权转让给了客户企业, 即由客户企业来决定其投入多少, 故此处的约束为客户企业的激励相容约束.

由式(  $\text{IC}_s$  ) 可知

$$E[T(a(\xi), e(\xi))] = E[c_a(a(\xi))^2/2 +$$

$$c_e (e(\xi))^2 / 2] + U_s$$

将此式代入式 (IC<sub>B</sub>), 可解得实施阶段的最优能力水平  $a_T(\xi)$  和努力程度  $e_T(\xi)$ .

将  $a_T(\xi)$  和  $e_T(\xi)$  代入式 (5), 可知客户企业的期望收益为  $\frac{1}{2}E[\xi^2] \left(\frac{\alpha}{c_a}\right)^\alpha \left(\frac{\beta}{c_e}\right)^\beta - U_s$ , 服务供应商的期望收益为  $U_s$ , 系统收益为

$$E[\pi_T(\xi)] = \frac{1}{2}E[\xi^2] \left(\frac{\alpha}{c_a}\right)^\alpha \left(\frac{\beta}{c_e}\right)^\beta$$

据式 (IR<sub>B</sub>) 的条件, 客户企业外包其 IT 业务的参与约束为  $U_B + U_s \leq E[\pi_T(\xi)]$ .

**命题 3** 在需求不确定的情形下, 满足  $U_B + U_s \leq E[\pi_T(\xi)]$  时, 合同  $(w, p, \rho)$  和服务供应商的能力水平、努力程度  $(a_T(\xi), e_T(\xi))$  构成纳什均衡. 合同形式为

$$T = \begin{cases} pa_T^2(\xi) / 2 + \rho e_T^2(\xi) / 2 + w & \text{若 } a \geq a_T(\xi) \quad e \geq e_T(\xi) \\ 0 & \end{cases}$$

其中  $p = c_a, \rho = c_e, w = U_s$ . 服务供应商的最优能力水平和努力程度分别为

$$a_T(\xi) = a_1(\xi) = \xi \left(\frac{\alpha}{c_a}\right)^{(1-\beta/2)} \left(\frac{\beta}{c_e}\right)^{\beta/2},$$

$$e_T(\xi) = e_1(\xi) = \xi \left(\frac{\alpha}{c_a}\right)^{\alpha/2} \left(\frac{\beta}{c_e}\right)^{(1-\alpha/2)}$$

系统收益为

$$E[\pi_T(\xi)] = E[\pi_1(\xi)] = \frac{1}{2}E[\xi^2] \left(\frac{\alpha}{c_a}\right)^\alpha \left(\frac{\beta}{c_e}\right)^\beta$$

由命题 3 可以看出, 时间材料合同有效采用的条件是客户企业拥有明确的监控执行标准<sup>[19]</sup>, 能够容易地监控服务供应商的能力投入和努力投入, 能够严密控制服务供应商的行动, 使得服务供应商严格按照客户企业的计划开展项目<sup>[18]</sup>.

### 2.3 收益共享合同

IT 服务外包伙伴关系已经成为重要的发展趋势, 伙伴关系的重要特征是收益共享和风险共担<sup>[3]</sup>. 在 IT 服务外包实践中, 收益共享合同越来越多地得到采用. 此种情形下, 客户企业和服务供应商首先对支付  $R$  进行谈判, 支付  $R$  应该包含利润分享, 一般情形下, 服务供应商具有商谈外包合同的经验与技术, 具备谈判优势, 客户企业需要提高他们的谈判技巧和地位<sup>[28]</sup>; 然后服务供应商根据谈判的结果进行生产要素的投入.

委托方和代理方谈判模型参考 Roth<sup>[29]</sup> 所建立的非对称纳什博弈模型  $R$  由最大化  $E[\pi_P(\xi)] = E[(\pi_B(\xi))^\lambda (\pi_S(\xi))^{1-\lambda}]$  给出,  $\lambda$  表示客户企业的议价能力. 其中服务供应商的期望收益为

$$E[\pi_S(\xi)] = E[R(\xi) - C(\xi)]$$

客户企业的期望收益为

$$E[\pi_B(\xi)] = E[V(\xi) - R(\xi)]$$

优化问题如 P3 所表述.

#### P3

$$\begin{aligned} \max_{R(\xi)} & E[(V(\xi) - R(\xi))^\lambda (R(\xi) - C(\xi))^{1-\lambda}] \\ \text{s. t.} & E[V(\xi) - R(\xi)] \geq U_B \quad (\text{IR}_B) \\ & E[R(\xi) - C(\xi)] \geq U_s \quad (\text{IR}_S) \\ & a_P(\xi), e_P(\xi) = \arg \max_{a, e} \{R(\xi) - C(\xi)\} \quad (\text{IC}_S) \end{aligned}$$

其中式 (IR<sub>B</sub>) 表示客户企业的参与约束, 式 (IR<sub>S</sub>) 和式 (IC<sub>S</sub>) 分别表示服务供应商的参与约束和激励相容约束. 优化问题 P3 的均衡解如命题 4 所描述. (证明过程参见附录 C)

**命题 4** 在需求不确定的情形下, 满足:

1)  $U_B + U_s \leq E[\pi_1(\xi)]$ ; 2)  $U_B \leq \lambda E[\pi_1(\xi)]$ ,  $U_s \leq (1-\lambda) E[\pi_1(\xi)]$  时, 合同支付  $R = \lambda C(\xi) + (1-\lambda)V(\xi)$  和服务供应商的能力水平、努力程度  $(a_P(\xi), e_P(\xi))$  构成纳什均衡. 服务供应商的能力水平和努力程度分别为

$$a_P(\xi) = a_1(\xi) = \xi \left(\frac{\alpha}{c_a}\right)^{(1-\beta/2)} \left(\frac{\beta}{c_e}\right)^{\beta/2},$$

$$e_P(\xi) = e_1(\xi) = \xi \left(\frac{\alpha}{c_a}\right)^{\alpha/2} \left(\frac{\beta}{c_e}\right)^{(1-\alpha/2)}$$

系统期望收益为

$$E[\pi_P(\xi)] = E[\pi_1(\xi)] = \frac{1}{2}E[\xi^2] \left(\frac{\alpha}{c_a}\right)^\alpha \left(\frac{\beta}{c_e}\right)^\beta$$

命题 4 表明, 收益共享合同有效应用的条件是客户企业和服务供应商能够有效地谈判, 双方的目标一致, 并拥有明确合理的利润分配条款, 双方的地位、议价能力不能相差太大<sup>[3, 30]</sup>.

对上述不确定情形下各种合同的绩效进行比较, 可以看出  $E[\pi_T(\xi)] = E[\pi_P(\xi)] = E[\pi_1(\xi)]$ , 时间材料合同和收益共享合同都能达到整合供应链下的系统最优收益水平, 而  $E[\pi_F(\xi)] \leq E[\pi_1(\xi)]$ , 固定价格合同无法达到. 固定价格合同绩效与其它合同绩效的比较即为  $(E[\xi^{-2}])^{-1}$  与  $E[\xi^2]$  的比较  $E[\xi^2] =$

$(E[\xi])^2 + \text{Var}[\xi], \text{Var}[\xi]$ , 为随机变量  $\xi$  的方差, 表示服务需求不确定性的大小.  $E[\xi^{-2}] = (E[\xi^{-1}]^2 + \text{Var}[\xi^{-1}])$  根据詹森不等式  $E[\xi^{-1}] \geq (E[\xi])^{-1}$ , 因此  $E[\xi^{-2}] \geq (E[\xi])^{-2} + \text{Var}[\xi^{-1}]$ , 则

$$\begin{aligned} (E[\xi^{-2}])^{-1} &\leq ((E[\xi])^{-2} + \text{Var}[\xi^{-1}])^{-1} \\ &= \frac{(E[\xi])^2}{1 + \text{Var}[\xi^{-1}](E[\xi])^2} \\ &\leq (E[\xi])^2 \end{aligned}$$

因此  $E[\xi^2] - (E[\xi^{-2}])^{-1} \geq \text{Var}[\xi]$ , 其它合同与固定价格合同的期望系统收益之差为

$$\begin{aligned} \Delta E[\pi_{KF}] &= E[\pi_K(\xi)] - E[\pi_F(\xi)] \\ &\geq \frac{1}{2} \text{Var}(\xi) \left(\frac{\alpha}{c_a}\right)^\alpha \left(\frac{\beta}{c_e}\right)^\beta \end{aligned}$$

其中  $K = T, P$ .

**结论 1** 在需求不确定的情形下, 1)  $E[\pi_F(\xi)] \leq E[\pi_T(\xi)] = E[\pi_P(\xi)] = E[\pi_I(\xi)]$ , 即固定价格合同下的系统收益最小, 时间材料合同和收益共享合同可以达到整合供应链下的系统最优水平; 2)  $\Delta E[\pi_{KF}] \geq \frac{1}{2} \text{Var}(\xi) \left(\frac{\alpha}{c_a}\right)^\alpha \left(\frac{\beta}{c_e}\right)^\beta$ ,  $K = T, P$ , 即固定价格合同与其它合同形式的系统收益之差随着需求不确定性的增大而增大.

结论 1 表明 相对于固定价格合同, 时间材料合同和收益共享合同更适用于需求不确定的情形. 固定价格合同中, 由于签约时拟定了明确的绩效要求, 使得服务供应商无法自由地按照需求的变化来调整其能力和努力程度的投入. 而在时间材料合同中, 服务供应商是在客户企业的监督和控制之下进行生产要素的投入, 客户企业通过对环境的监控和扫描了解外包需求的变化, 并及时将这些信息反馈给服务商, 指导服务商调整其生产要素投入水平. 收益共享合同有效解决了客户企业和服务供应商的目标不一致和激励分歧问题, 服务供应商获得了最优的激励水平, 从而能够达到整合供应链下的系统最优水平. 因此, 相对于固定价格合同, 时间材料合同因其灵活性能适用于不确定性较高的环境, 而在需求变动的 IT 外包环境中普遍采用这种合同也证明了本文的观点<sup>[3, 15-21]</sup>. 收益分享合同因其有效的激励机制在不确定性较高的伙伴型外包关系中得以应用, 并且现有研究认为基于收益共享和风险共担的伙伴

关系的成功率较高, 是外包关系的理想模型<sup>[31]</sup>.

下面针对需求确定的情形对各种合同进行分析. 在需求确定的情形下, 客户企业能够清晰地界定、定义和描述需求, 能够在合同中明确规定服务规模和服务功能, 并且需求在项目实施过程中不会发生变更, 即对于缔约双方来说, 此时服务需求  $\xi$  是个定值, 显然有  $\text{Var}[\xi] = 0, P(\xi = E[\xi]) = 1$  ( $P$  表示概率), 易证  $(E[\xi^{-2}])^{-1} = E[\xi^2] = (E[\xi])^2$ . 因此, 需求确定的情形下  $E[\pi_F(\xi)] = E[\pi_T(\xi)] = E[\pi_P(\xi)] = E[\pi_I(\xi)]$ . 由此, 可得出以下结论.

**结论 2** 在需求确定的情形下, 固定价格合同、时间材料合同和收益共享合同的绩效是无差异的, 都可达到整合供应链下的系统最优水平.

与结论 2 一致, Gopal 等<sup>[21]</sup> 的实证研究表明, 在没有需求不确定性、信息完全的情形下, 选择任何类型的合同是无所谓的.

### 3 算例分析

为了更好的阐释本文的结论、衡量不确定性的大小对各种合同下系统收益的影响, 本节将需求的分布根据服务外包中可能出现的变化分为连续情形以及离散情形进行仿真, 并结合各种合同的使用条件进行综合分析, 以期得到更为系统的结论, 为服务外包中如何根据不确定性的具体情况选择合同方案提供建议.

由第 2 节的分析可以看出, 固定价格合同的使用条件是易于规定服务绩效标准, 时间材料合同的使用条件是具备合理的易于实施的监控执行标准和监控机制, 收益共享合同要求双方目标一致、地位相对平等、谈判机制有效和利润分配机制合理. 相对来说, 固定价格合同较为简单易行, 因此, 这种合同广泛应用在不确定性较低的情形下<sup>[21]</sup>, 而收益共享合同是基于长期的伙伴关系的收益分享、风险共担的激励合约, 因而对双方提出了更高的要求.

服务外包中需求的变化可以分为两种情形, 一种是技术和业务渐进式逐步变化而引起需求呈连续性变化, 技术的逐步变化是相对于技术彻底变化的技术发展情形, 而业务的逐步变化是相对于业务快速膨胀和萎缩乃至战略剥离的一种变化

情形<sup>[3]</sup>. 另一种是由于重大的技术变革或者业务战略转移而引起服务需求的跳跃式发展, 如有些服务不再需要或者突然加大、降低等<sup>[3]</sup>.

### 3.1 需求连续的情形

假定服务需求服从均匀分布  $\xi \sim U[\underline{\xi}, \bar{\xi}]$   $\underline{\xi}$  为需求的下限  $\bar{\xi}$  为需求的上限.  $\xi$  的均值  $E[\xi] = (\underline{\xi} + \bar{\xi}) / 2$   $\xi$  的密度函数  $f(\xi) = (\bar{\xi} - \underline{\xi})^{-1}$ . 对优化问题 P1、P2 和 P3 求解, 固定价格合同和其它合同形式下的系统期望收益分别为

$$E[\pi_F(\xi)] = \frac{1}{2} \bar{\xi} \left( \frac{\alpha}{c_a} \right)^\alpha \left( \frac{\beta}{c_e} \right)^\beta,$$

$$E[\pi_K(\xi)] = \frac{1}{2} \left( \frac{\bar{\xi}^2 + \underline{\xi}\bar{\xi} + \underline{\xi}^2}{3} \right) \left( \frac{\alpha}{c_a} \right)^\alpha \left( \frac{\beta}{c_e} \right)^\beta$$

其中  $K = T, P$ . 不确定性的大小为

$$\text{Var}[\xi] = \frac{(\bar{\xi} - \underline{\xi})^2}{12}.$$

固定合同与其它合同的收益之差为

$$\Delta E[\pi_{KF}] = E[\pi_K(\xi)] - E[\pi_F(\xi)]$$

$$= 2\text{Var}[\xi] \left( \frac{\alpha}{c_a} \right)^\alpha \left( \frac{\beta}{c_e} \right)^\beta$$

其中  $K = T, P$ . 固定  $\alpha = 0.5$   $\beta = 0.5$   $c_a = c_e = 8$   $E[\xi] = u = 10$   $\Delta E[\pi_{KF}]$  随  $\text{Var}[\xi]$  的变化如图 2 所示.

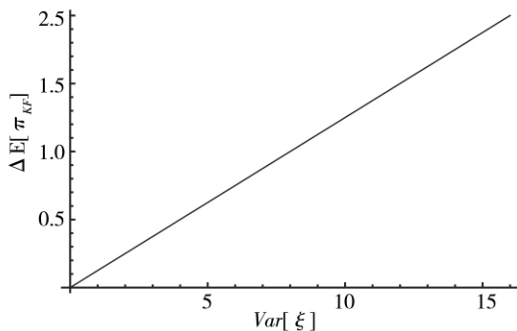


图 2 其它合同与固定价格合同收益之差随不确定性大小的变化

Fig. 2 Relationship between profit gab and uncertainty

**结论 3** 当服务需求服从均匀分布时, 固定价格合同和其它合同的系统收益之差与不确定性成比例增长, 比例系数为  $2 \left( \frac{\alpha}{c_a} \right)^\alpha \left( \frac{\beta}{c_e} \right)^\beta$ .

一般情形下, 服务项目持续的时间越长, 相关的服务需求不确定性越高<sup>[3]</sup>. 当客户企业处在业务或者 IT 技术逐步发展的环境中时, 若客户企业决定进行短期外包, 此时的需求变化幅度较小, 客

户企业可以采用易于管理的固定价格合同; 若客户企业决定与服务商建立较长时期的外包关系, 此时的需求变化幅度较大, 客户企业可以选择灵活性较高的合同如时间材料合同来保证服务项目顺利实施; 若客户企业决定与服务商建立长期的伙伴型外包关系, 此时的需求不确定性可能很大, 客户企业可以选择收益共享合同来分担需求不确定性风险同时对服务商提供有效的激励.

### 3.2 需求离散的情形

假定随机需求  $\xi$  有两种情形, 高需求  $\xi_H$  和低需求  $\xi_L$ , 出现  $\xi_H$  的概率为  $\phi$ , 出现  $\xi_L$  的概率为  $1 - \phi$ .  $\xi_H > \xi_L > 0$   $0 \leq \phi \leq 1$ .  $u = E[\xi] = \phi \xi_H + (1 - \phi) \xi_L$ , 从而  $\phi = \frac{u - \xi_L}{\xi_H - \xi_L}$ .

此种情形下, 对固定价格合同的优化问题 P1 求解. 在实施阶段, 服务供应商可以观测到  $\xi_H$  或者  $\xi_L$ , 能够在满足合同要求的情况下根据  $\xi$  的具体值进行最优的能力和努力投入.

当  $\xi = \xi_H$  时

$$a(\xi_H) = \frac{M}{\xi_H} \left( \frac{\alpha c_e}{\beta c_a} \right)^{\beta/2},$$

$$e(\xi_H) = \frac{M}{\xi_H} \left( \frac{\beta c_a}{\alpha c_e} \right)^{\alpha/2}$$

当  $\xi = \xi_L$  时

$$a(\xi_L) = \frac{M}{\xi_L} \left( \frac{\alpha c_e}{\beta c_a} \right)^{\beta/2},$$

$$e(\xi_L) = \frac{M}{\xi_L} \left( \frac{\beta c_a}{\alpha c_e} \right)^{\alpha/2}.$$

由  $(IR_s)$  条件可得

$$E[F(\xi(a(\xi)))^\alpha (e(\xi))^\beta \geq M] =$$

$$\frac{1}{2} [\phi \xi_H^{-2} + (1 - \phi) \xi_L^{-2}] \left( \frac{\alpha}{c_a} \right)^\alpha \left( \frac{\beta}{c_e} \right)^\beta M^2 + U_s$$

则在缔约阶段, 客户企业的问题为

$$\max_M E[\pi_B(u)] = E \left[ M - \frac{1}{2} [\phi \xi_H^{-2} + (1 - \phi) \xi_L^{-2}] \left( \frac{\alpha}{c_a} \right)^\alpha \left( \frac{\beta}{c_e} \right)^\beta M^2 - U_s \right]$$

求解此问题, 有

$$M = [\phi \xi_H^{-2} + (1 - \phi) \xi_L^{-2}]^{-1} \left( \frac{\alpha}{c_a} \right)^\alpha \left( \frac{\beta}{c_e} \right)^\beta$$

然后经简单运算, 得到系统期望收益

$$E[\pi_F(\xi)] = \frac{1}{2} [\phi \xi_H^{-2} + (1 - \phi) \xi_L^{-2}]^{-1} \left( \frac{\alpha}{c_a} \right)^\alpha \left( \frac{\beta}{c_e} \right)^\beta$$



在时间材料合同下,对优化问题 P2 求解. 在实施阶段 当  $\xi = \xi_H$  时

$$a_T(\xi_H) = \xi_H \left(\frac{\alpha}{c_a}\right)^{(1-\beta/2)} \left(\frac{\beta}{c_e}\right)^{\beta/2},$$

$$e_T(\xi_H) = \xi_H \left(\frac{\alpha}{c_a}\right)^{\alpha/2} \left(\frac{\beta}{c_e}\right)^{1-\alpha/2}$$

当  $\xi = \xi_L$  时

$$a_T(\xi_L) = \xi_L \left(\frac{\alpha}{c_a}\right)^{1-\beta/2} \left(\frac{\beta}{c_e}\right)^{\beta/2},$$

$$e_T(\xi_L) = \xi_L \left(\frac{\alpha}{c_a}\right)^{\alpha/2} \left(\frac{\beta}{c_e}\right)^{1-\alpha/2}$$

在缔约阶段,易求得系统期望收益为

$$E[\pi_T(\xi)] = \frac{1}{2} [\phi \xi_H^2 + (1-\phi) \xi_L^2] \left(\frac{\alpha}{c_a}\right)^\alpha \left(\frac{\beta}{c_e}\right)^\beta$$

整合供应链和收益共享合同会得到同样的系统期望收益.

比较固定价格合同与其它合同下的收益,即为比较  $(E[\xi^{-2}])^{-1} = [\phi \xi_H^{-2} + (1-\phi) \xi_L^{-2}]^{-1}$  与  $E[\xi^2] = \phi \xi_H^2 + (1-\phi) \xi_L^2$ . 容易证明

$$[\phi \xi_H^{-2} + (1-\phi) \xi_L^{-2}]^{-1} \leq [\phi \xi_H + (1-\phi) \xi_L]^2 = (E[\xi])^2$$

而  $E[\xi^2] = (E[\xi])^2 + \text{Var}[\xi]$ , 因此  $E[\xi^2] - (E[\xi^{-2}])^{-1} \geq \text{Var}[\xi]$ , 与结论 2 一致. 其中

$$\text{Var}[\xi] = \phi(\xi_H - E[\xi])^2 + (1-\phi)(\xi_L - E[\xi])^2 = (\xi_H - E[\xi])(\xi_L - E[\xi])$$

令  $g(\xi)$  表示其它合同形式同固定价格合同期望收益之比,用来衡量固定价格合同的效率. 即

$$g(\xi) = \frac{E[\pi_K(\xi)]}{E[\pi_F(\xi)]} = 1 + \{(\xi_H - E[\xi])(E[\xi] - \xi_L)\} \times \left(\frac{1}{\xi_H} + \frac{1}{\xi_L}\right)^2$$

其中  $K = T, P$ .

利用  $\text{Var}[\xi] = (\xi_H - E[\xi])(E[\xi] - \xi_L)$  表示不确定性的 大小,可以看出当均值  $E[\xi] = u$  固定时,  $\text{Var}[\xi]$  的增大可分为 3 种情况: ①  $\xi_L$  不变,  $\xi_H$  增大; ②  $\xi_H$  不变,  $\xi_L$  降低; ③  $\xi_L$  降低,  $\xi_H$  增大.

情形 ① 中的不确定性是由可能提升未来需求引起的. 对应的现实情况是迫于信息化的压力、业务发展的需要等提高了企业的 IT 服务需求,如客户企业未来可能更多地使用电子商务运营模式增加了 IT 需求;

情形 ② 中不确定性是由未来需求可能降低

引起的. 对应的现实情况是未来可能出现重大技术变革和突破性创新淘汰现有技术,降低了现有技术下的 IT 服务需求. 如未来客户企业可能采用客户—服务器技术这种新的解决方案来取代现有的大型主机系统,那么基于大型主机系统的 IT 服务需求可能降低;

情形 ③ 中的不确定性是由存在降低和提高未来需求两种可能性引起的. 对应的现实情况是竞争环境的改变等导致 IT 服务需求可能提高,也可能降低,或者客户企业处在快速多变的动荡的环境中,致使客户企业难以把握未来需求的变更. 如竞争对手 IT 外包的成功实施可能提高客户企业 IT 外包比例和相应的 IT 需求,而竞争对手的外包失败可能降低客户企业外包比例和 IT 需求,当客户企业处于动荡的环境中时,其业务规模可能急速膨胀或者急剧降低,相应的 IT 服务需求也可能提高或者降低. 相比较前两种情形,此种情形下客户企业预测未来 IT 需求的难度更大,相应的 IT 需求的不确定性更高.

给定基本参数值:  $\xi_L = 8, \xi_H = 12, E[\xi] = u = 10$ . 固定其它参数值,变化其中 1 个,得到情形 ① 和情形 ② 下的  $g(\xi)$  随  $\text{Var}[\xi]$  的变化趋势,如图 3 所示. 在情形 ① 下,随着  $\xi_H$  的提高,  $g(\xi)$  随  $\text{Var}[\xi]$  呈现出接近线性的变化,易于证明,斜率为  $1/\xi_L^2$ . 在情形 ② 下,随着  $\xi_L$  的降低,  $g(\xi)$  随  $\text{Var}[\xi]$  呈凸性变化,  $\text{Var}[\xi]$  越大,  $g(\xi)$  越大,并呈边际递增规律.

比较上述两种情形得到: 1) 当需求的不确定性是由未来 IT 需求可能增加而造成时,若客户的现有需求较大(即  $\xi_L$  较高)且需求不确定性不是特别大,这时从不确定性风险的角度来说,其它合同相对于固定价格合同的优势很小(即  $g(\xi)$  较低). 鉴于固定价格合同的易于管理,客户企业可以选择此种合同. 但是若客户的现有需求较小且需求的不确定性很大时,选择适应性较强的合同和风险共担合同则是合理的; 2) 相对于由需求的提高造成的不确定性带来的影响,需求的降低造成的不确定性带来的影响要大得多,如图 3 所示,除较低的不确定性下(图中  $\text{Var}[\xi] \leq 4$ ) 两者相差无几外,其它情形下,两者相差较大,且随不确定性的增加而增大. 这说明,在情形 ② 下,相对于需求提高的变化,需求降低的变化更需要合同的

灵活性, 固定价格合同的劣势更为显著。

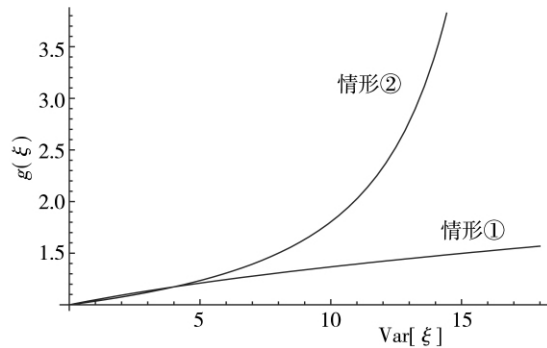


图 3 情形 ① 和情形 ② 下, 其它合同与固定价格合同的系统收益之比随不确定性的变化情况

Fig. 3 Relationship between the profit ratio and uncertainty under scenario ① and scenario ②

给定基本参数值  $E[\xi] = u = 10$ , 变化  $\xi_L$  和  $\xi_H$ , 得到图 4. 可以看出, 随着  $\xi_H - \xi_L$  的增加,  $g(\xi)$  快速提高. 这说明, 当客户对需求的变化趋势难以把握时, 需求的不确定性是由需求的降低和提高两种可能性都存在引起时, 采用固定价格合同成了最劣的选择, 由于这种情形下不确定性风险较大, 所以, 具备风险分担功能的收益共享合同成了最优选择.

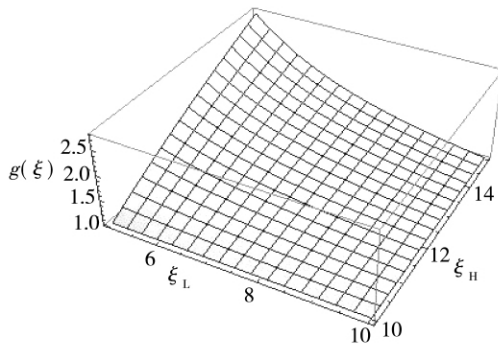


图 4 情形 ③ 下, 其它合同与固定价格合同的系统收益之比随不确定性的变化情况

Fig. 4 Relationship between the profit ratio and uncertainty under scenario ③

综合上述分析, 可得以下结论.

**结论 4** 在需求分为高需求和低需求两种情形下: 1) 当需求的不确定性是由需求的可能提高而造成时, 若客户的现有需求较大且需求不确定性不是特别大, 可以选择固定价格合同. 但是若客户的现有需求较小且需求不确定性很大, 最好选择时间材料合同和收益共享合同; 2) 当需求的不确定性是由需求的可能降低引起时, 固定价格合

同的劣势较为显著, 需要选择灵活性较高的合同; 3) 当客户难以把握需求的变化趋势, 需求的不确定性是由需求的提升或降低都有可能发生所引起时, 固定价格合同为最劣的选择, 收益共享合同为最优选择.

## 4 结束语

针对 IT 服务外包中的需求不确定性问题, 本文建立了选择合同的理论分析框架. 研究分析表明, 在需求确定的情形下, 固定价格合同、时间材料合同和收益共享合同的系统收益水平是无差异的, 都可达到整合供应链下的系统最优水平; 在需求不确定的情形下, 固定价格合同无法达到整合供应链下的系统最优水平, 而其它合同形式可以达到, 并且其它合同与固定价格合同的系统收益之差随着不确定性的增大而增大. 接着, 根据服务外包中 IT 需求的不确定性的具体情形, 结合各种合同的使用条件, 本文分别对需求连续变化和跳跃变化下的各种合同绩效进行了比较, 指出如何根据不确定性的具体情况选择相应的合同方案. 从合同的灵活性角度来说, 相对于其它两种合同形式, 固定价格合同较为严密, 缺乏灵活性, 不能有效的根据需求的变化调整投入水平, 因而不适应需求不确定性较高的环境; 从合同的激励角度来说, 在固定价格合同下, 服务供应商承担了需求不确定性的风险, 但是没有相应的风险补偿, 因此绩效较低, 在时间材料合同下, 客户企业对自己的需求更为清楚, 独立承担了需求不确定性的风险, 可以根据实际的需求变化来监控指导服务供应商的投入水平, 因而能够达到最优的绩效水平. 在收益共享合同下, 需求不确定性的风险由双方共同承担, 双方的目标是一致的, 因此亦可以达到系统最优的绩效水平.

本文的研究为不确定性环境下的 IT 服务外包合同设计提供理论支持, 对管理实践中不同的需求环境下的外包合同的设计与选择具有一定的指导意义. 本文仅考虑了一个服务商的情形, 进一步研究可考虑多个服务商的情形, 分析多个服务商的不确定性风险分担行为对客户企业合同选择的影响.

## 参考文献:

- [1] Lichtenstein Y. Puzzles in software development contracting[J]. *Communications of the ACM*, 2004, 47(2): 61–65.
- [2] Aksin O Z, Masini A. Effective strategies for internal outsourcing and offshoring of business services: An empirical investigation[J]. *Journal of Operations Management*, 2008, 26(2): 239–256.
- [3] Klepper R, Jones W. *Outsourcing Information Technology Systems and Services*[M]. N J: Prentice-Hall, 1998: 5–58.
- [4] 李小卯. 信息技术项目产权结构及其管理模式的研究[J]. *管理科学学报*, 2002, 5(5): 55–61.  
Li Xiaomao. Study on property right and management model of IT project[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2002, 5(5): 55–61. (in Chinese)
- [5] Earl M J. The risks of outsourcing IT[J]. *Sloan Management Review*, 1996, 37(3): 26–32.
- [6] Slaughter S A, Ang S. Employment outsourcing in information systems[J]. *Communications of the ACM*, 1996, 39(7): 47–54.
- [7] McLellan K L, Marcolin B L, Beamish P W. Financial and strategic motivations behind IS outsourcing[J]. *Journal of Information Technology*, 1995, 10(4): 299–321.
- [8] Nam K, Rajagopalan S, Rao H R, et al. A two-level investigation of information systems outsourcing[J]. *Communications of the ACM*, 1996, 39(7): 36–44.
- [9] Ang S, Cummings L L. Strategic response to institutional influences on information systems outsourcing[J]. *Organization Science*, 1997, 8(3): 235–256.
- [10] Poppo L, Zenger T. Testing alternative theories of the firm: Transaction cost, knowledge-based, and measurement explanations for make-or-buy decisions in information services[J]. *Strategic Management Journal*, 1998, 19(9): 853–877.
- [11] Dey D, Fan M, Zhang C. Design and analysis of contracts for software outsourcing[J]. *Information Systems Research*, 2010, 21(1): 93–114.
- [12] Hull E, Jackson K, Dick J. *Requirements Engineering*[M]. London: Springer Verlag, 2005: 15–201.
- [13] Dibbern J, Goles T, Hirschheim R, et al. Information systems outsourcing: A survey and analysis of the literature[J]. *The Database for Advances in Information Systems*, 2004, 35(4): 6–102.
- [14] Wiener M. *Critical Success Factors of Offshore Software Development Projects: The Perspective of German-Speaking Companies*[M]. Germany: Gabler Edition Wissenschaft, 2006: 61–156.
- [15] Michell V, Fitzgerald G. The IT outsourcing market-place: Vendors and their selection[J]. *Journal of Information Technology*, 1997, 12(3): 223–237.
- [16] Kern T, Willcocks L P, Van Heck E. The winner's cures in IT outsourcing: strategies for avoiding relational trauma[J]. *California Management Review*, 2002, 44(2): 47–69.
- [17] Currie W L, Willcocks L P. Analyzing four types of IT sourcing decisions in the context of scale, client/supplier interdependency and risk mitigation[J]. *Information Systems Journal*, 1998, 8(2): 119–143.
- [18] Clark T D, Zmud R W, McCray G E. The outsourcing of information services: Transforming the nature of business in the information industry[J]. *Journal of Information Technology*, 1995, 10(4): 221–237.
- [19] McFarlan F W, Nolan R L. How to manage an IT outsourcing alliance[J]. *Sloan Management Review*, 1995, 36(2): 9–23.
- [20] Sadeh A, Dvir D, Shenhar A. The role of contract type in the success of R&D defense projects under increasing uncertainty[J]. *Project Management Journal*, 2000, 31(3): 14–22.
- [21] Gopal A, Sivaramakrishnan K, Krishnan M S, et al. Contracts in offshore software development: An empirical analysis[J]. *Management Science*, 2003, 49(12): 1671–1683.
- [22] Neumann J D, Jenkins A M. Prototyping: The new paradigm for systems development[J]. *MIS Quarterly*, 1982, 6(3):

29 - 44.

- [23] Boehm B W. Software Engineering Economics [M]. N J: Prentice-Hall, 1981: 121 - 327.
- [24] Bennedsen M, Schultz C. Adaptive contracting: The trial-and-error approach to outsourcing [J]. *Economic Theory*, 2005, 25(1): 35 - 50.
- [25] Jayanth R, Jacob V S, Radhakrishnan S. Vendor and client interaction for requirements assessment in software development: Implications for feedback process [J]. *Information Systems Research*, 2011, 22(2): 289 - 305.
- [26] Aubert B A, Dussault S, Patry M, et al. Managing the risk of IT outsourcing [C] // Proceedings of the 32nd Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 1999: 1 - 11.
- [27] Ang S, Slaughter S A. Organizational psychology and performance in IS employment outsourcing and insourcing [C] // Proceedings of the 31st Hawaii International Conference on System Sciences, 1998: 635 - 643.
- [28] Lacity M C, Hirschheim R A. The information systems outsourcing bandwagon [J]. *Sloan Management Review*, 1993, 35(1): 73 - 86.
- [29] Roth A. *Axiomatic Models of Bargaining* [M]. Berlin: Springer Verlag, 1979: 39 - 82.
- [30] Quinn J B. Strategic outsourcing: Leveraging knowledge capabilities [J]. *Sloan Management Review*, 1999, 40(4): 9 - 21.
- [31] Dibbern J. *The Sourcing of Application Software Services: Empirical Evidence of Cultural, Industry and Functional Differences* [M]. Berlin: Springer Verlag, 2004: 129 - 142.

## Design and analysis of contracts for IT service outsourcing with uncertain requirements

ZHANG Zong-ming, LIAO Xiu-wu, LIU Shu-lin

School of Management, Xi'an Jiaotong University, The Key Lab of Education for Process Control & Efficiency, Xi'an 710049, China

**Abstract:** The uncertainty of business and technology environments will result in requirements uncertainty in the IT service outsourcing industry. Based on the problem of requirements uncertainty, the principal-agent theory is applied to design different contracts for different requirements environments, and the performances of these contracts, namely, fixed-price contract, time-and-materials contract and profit-sharing contract are analyzed. Our study shows that with certain requirements the three contracts all can achieve the first-best revenue of integrated supply chain; but in case of requirements uncertainty, the fixed-price contract can not achieve the first-best level of integrated supply chain while the other two can, and moreover the revenue gap between fixed-price contract and the other two contracts is larger with the increase of requirements uncertainty. At last, we validate and expand the relevant conclusions by considering the situation where requirements have continuous distribution and discrete distribution.

**Key words:** IT service outsourcing; requirements uncertainty; principal-agent theory; contract design

附录 A:

命题 1 证明

在实施阶段, 最优投入的一阶条件为

$$\frac{\partial \pi_1(\xi)}{\partial a(\xi)} = \xi \alpha (a(\xi))^{\alpha-1} (e(\xi))^\beta - c_a a(\xi) = 0 \tag{A1}$$

$$\frac{\partial \pi_1(\xi)}{\partial e(\xi)} = \xi \beta (e(\xi))^{\beta-1} (a(\xi))^\alpha - c_e e(\xi) = 0 \tag{A2}$$

目标函数的 Hessian 矩阵为

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \pi_1(\xi)}{\partial (a(\xi))^2} & \frac{\partial^2 \pi_1(\xi)}{\partial a(\xi) \partial e(\xi)} \\ \frac{\partial^2 \pi_1(\xi)}{\partial e(\xi) \partial a(\xi)} & \frac{\partial^2 \pi_1(\xi)}{\partial (e(\xi))^2} \end{bmatrix}$$

根据  $\frac{\partial^2 \pi_1(\xi)}{\partial (a(\xi))^2} \leq 0$  , 以及  $\frac{\partial^2 \pi_1(\xi)}{\partial (a(\xi))^2} \cdot \frac{\partial^2 \pi_1(\xi)}{\partial (e(\xi))^2} - \frac{\partial^2 \pi_1(\xi)}{\partial a(\xi) \partial e(\xi)} \cdot \frac{\partial^2 \pi_1(\xi)}{\partial e(\xi) \partial a(\xi)} \geq 0$  . 可知  $H$  是负半定矩阵 , 因此  $\pi_1(\xi)$  是  $(a(\xi), e(\xi))$  的凹函数 . 据式 (A1) 和 (A2) , 可解出  $a_1(\xi)$  和  $e_1(\xi)$  . 将  $a_1(\xi), e_1(\xi)$  代入式 (3) , 得到整合供应链下的系统最优收益  $E[\pi_1(\xi)]$  . 证毕 .

附录 B:

命题 2 证明

由于服务外包过程是两阶段动态博弈问题 , 因此采用逆向求解方法 , 在实施阶段 , 服务供应商的问题为根据合同支付和服务需求情况确定能力投入和努力投入 , 提供符合合同要求的服务 , 其目标函数为

$$\max_{a(\xi), e(\xi)} \pi_s(\xi) = F(\xi(a(\xi))^\alpha (e(\xi))^\beta \geq M) - \frac{1}{2} c_a (a(\xi))^2 - \frac{1}{2} c_e (e(\xi))^2 \tag{B1}$$

由  $\frac{\partial \pi_s(\xi)}{\partial a(\xi)} = -c_a a(\xi) \leq 0$  ,  $\frac{\partial \pi_s(\xi)}{\partial e(\xi)} = -c_e e(\xi) \leq 0$  可知 , 能力投入、努力投入给接包方带来的都是负效用 , 因此服务供应商只会提供满足合约规定的最低投入 , 即  $\xi(a(\xi))^\alpha (e(\xi))^\beta = M$  . 则  $e(a(\xi)) = (M/\xi)^{1/\beta} (a(\xi))^{-\alpha/\beta}$  , 将此式代入式 (B1) , 则式 (B1) 转化为

$$\max_{a(\xi)} \pi_s(\xi) = F - \frac{1}{2} c_a (a(\xi))^2 - \frac{1}{2} c_e (M/\xi)^{2/\beta} (a(\xi))^{-2\alpha/\beta} \tag{B2}$$

容易证明  $\pi_s(\xi)$  是  $a(\xi)$  的凹函数 , 据最优化条件解得

$$a(\xi) = \frac{M}{\xi} \left( \frac{\alpha c_e}{\beta c_a} \right)^{\beta/2} \tag{B3}$$

$$e(\xi) = \frac{M}{\xi} \left( \frac{\beta c_a}{\alpha c_e} \right)^{\alpha/2} \tag{B4}$$

因为客户企业能够选择最小的固定支付  $F$  使得  $E[\pi_B(\xi)]$  最大化 , 即客户企业可以通过降低固定支付  $F$  来增加其期望收益 , 直到参与约束取等 , 所以是  $(IR_s)$  紧约束 . 将式 (B3) 和 (B4) 代入式  $(IR_s)$  , 求得服务供应商的期望合同支付为

$$E[F(\xi(a(\xi))^\alpha (e(\xi))^\beta \geq M)] = \frac{1}{2} \frac{c_a}{\alpha} \left( \frac{\alpha c_e}{\beta c_a} \right)^\beta E[\xi^{-2}] M^2 + U_s \tag{B5}$$

将式 (B5) 代入客户企业的目标函数式 (4) , 则客户企业的目标函数可表述为

$$\max_M E(\pi_B(\xi)) = E \left[ M - \frac{1}{2} \frac{c_a}{\alpha} \left( \frac{\alpha c_e}{\beta c_a} \right)^\beta E[\xi^{-2}] M^2 - U_s \right]$$

求解此问题 , 可得客户企业指定的最优绩效标准为

$$M = \frac{\alpha}{c_a} \left( \frac{\alpha c_e}{\beta c_a} \right)^{-\beta} (E[\xi^2])^{-1} \tag{B6}$$

将式 (B6) 代入式 (B3) 和 (B4) , 可得服务供应商的最优能力水平  $a_f(\xi)$  和努力程度  $e_f(\xi)$  .

将式 (B6) 代入式 (B5) , 可得合同支付

$$F = \frac{1}{2} \left( \frac{\alpha}{c_a} \right)^\alpha \left( \frac{\beta}{c_e} \right)^\beta (E[\xi^{-2}])^{-1} + U_s$$

此时, 服务供应商的期望收益为  $U_s$ , 客户企业的期望收益为  $\frac{1}{2}(E[\xi^{-2}])^{-1}\left(\frac{\alpha}{c_a}\right)^\alpha\left(\frac{\beta}{c_e}\right)^\beta - U_s$ , 系统期望收益为

$$E[\pi_F(\xi)] = \frac{1}{2}(E[\xi^{-2}])^{-1}\left(\frac{\alpha}{c_a}\right)^\alpha\left(\frac{\beta}{c_e}\right)^\beta$$

据( IR<sub>B</sub>) , 得到客户企业采用固定价格合同外包的条件为

$$U_B + U_s \leq E[\pi_F(\xi)] \quad (B7)$$

式( B7) 说明客户企业在固定合同下采取外包需要满足客户企业的保留效用和服务供应商的保留效用之和小于系统最优收益, 否则, 客户企业将选择内包. 证毕.

附录 C:

命题 4 证明

目标函数式( 6) 的一阶、二阶条件为

$$\frac{\partial \pi_P(\xi)}{\partial R(\xi)} = (V(\xi) - R(\xi))^{-\lambda} (R(\xi) - C(\xi))^{-\lambda} [(1 - \lambda)(V(\xi) - R(\xi)) - \lambda(R(\xi) - C(\xi))] = 0 \quad (C1)$$

$$\frac{\partial^2 \pi_P(\xi)}{\partial (R(\xi))^2} = -\lambda(1 - \lambda)(V(\xi) - R(\xi))^{-\lambda-2} (R(\xi) - C(\xi))^{-\lambda-1} (V(\xi) - C(\xi))^2 \leq 0 \quad (C2)$$

由式( C2) 可知  $\pi_P(\xi)$  是  $R(\xi)$  的凹函数, 据式( C1) 得  $R(\xi) = \lambda C(\xi) + (1 - \lambda)V(\xi)$ . 此时, 客户企业和服务供应商的期望收益分别为

$$E[\pi_B] = E[\lambda(V(\xi) - C(\xi))] = \lambda E\left[\xi(a(\xi))^\alpha(e(\xi))^\beta - \frac{1}{2}c_a(a(\xi))^2 - \frac{1}{2}c_e(e(\xi))^2\right] \quad (C3)$$

$$E[\pi_s] = E[(1 - \lambda)(V(\xi) - C(\xi))] = (1 - \lambda) E\left[\xi(a(\xi))^\alpha(e(\xi))^\beta - \frac{1}{2}c_a(a(\xi))^2 - \frac{1}{2}c_e(e(\xi))^2\right] \quad (C4)$$

容易看出, 收益共享合同下, 客户企业和服务供应商的目标是一致的, 都为  $\max\{V(\xi) - C(\xi)\}$ , 因此能够使生产要素的投入达到系统最优水平. 据式( IC<sub>s</sub>) 可解出  $a_P(\xi)$  和  $e_P(\xi)$ . 据式( IR<sub>B</sub>) 和式( IR<sub>s</sub>) , 双方的参与条件为: ①  $U_B + U_s \leq E[\pi_1(\xi)]$ ; ②  $U_B \leq \lambda E[\pi_1(\xi)]$ ,  $U_s \leq (1 - \lambda) E[\pi_1(\xi)]$ . 条件 ① 为基本条件, 系统最优收益必须大于双方期望效用之和, 条件 ② 要求双方的议价能力、双方的地位不能相差太大, 否则议价能力低的一方将退出合同. 证毕.