

软件外包的两阶段付款合同设计：^① 考虑双边期权价值的纳什谈判方法与实证

石晓军¹, 张顺明¹, Hiroshi Tsuji²

(1. 中国人民大学财政金融学院, 北京 100872;

2. 日本大阪府立大学系统科学学院, 大阪 5990581, 日本)

摘要: 提出采用两阶段付款合同控制软件外包风险、降低承接商道德风险行为. 扩展了 Feenstra 和 Hanson 关于外包的产权模型, 融入了软件外包双方的实物期权价值. 认为包出方持有的灵活性期权价值可以用一个带有中间检查标准的 Down-and-Out 障碍期权加以描述, 而承接商的灵活性则可以用一个交换期权进行描述. 通过包出方和承接商努力的“混合”性刻画软件外包的特殊性, 也基于这个性质采用事后的纳什谈判模型求均衡解. 得到求解两阶段付款合同设计的方程组. 设计了反映包出方、承接商与包出软件三类特性的经济实验方法, 获得中日软件外包中资深外包经理对灵活性期权价值的认知, 对模型的主要结论进行实证检验, 得到支持性证据.

关键词: 软件外包; 实物期权; 付款合同设计

中图分类号: C931.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2015)07-0001-12

0 引言

软件外包是包出方 (client) 和承接商 (vendor) 之间的一种合约, 包出方将软件开发活动 (activities) 的一部分或全部签约给承接商, 承接商按照合约要求提供相应的软件产品与服务以获得报酬^[1]. 近年来, 软件开发的大规模跨境外包 (offshore outsourcing), 即由高成本的发达国家转包给低成本的发展中国家, 已成为一种重要的全球经济现象, 甚至被一些学者称为软件业的一场“悄然的革命 (unspoken revolution)”^[2]. 跨境软件外包具有智力密集、有形资产抵押少、信息不对称问题突出、需求不确定性高、技术变动快、人力资源流动性强、沟通难度大、进度与质量监督与控制难度大、文化差异明显、跨境组织协调与协同成本高、关系型管理的重要性明显等特点. 这些特点使得跨境软件外包合约执行结果不确定性大, 如

何有效地管理风险成为软件跨境外包中最具挑战性的管理问题之一.

目前, 国际上关于软件外包风险管理的研究, 较多地集中于风险影响因素 (详见两篇重要的综述: 文献 [3-4])、风险度量 (如: 文献 [5-7])、以及管理策略的运筹学模型 (如文献 [8]) 等. 国内相关文献研究了软件外包中承接商动态能力 (见文献 [9])、风险判别和规避模型 (见文献 [10])、成本估算 (见文献 [11]) 等. 而基于合约理论研究软件外包的经济学模型, 到目前为止, 主要有两种: 一是以文献 [12] 为代表的道德风险模型, 二是以文献 [13] 为代表的产权模型.

软件外包合约经济学模型为进一步研究软件外包风险管理提供了理论基础. 外包的本质是一种合约关系, 因此, 外包合约条款的设计, 尤其是付款条款的巧妙设计, 是包出方管理外包风险最

^① 收稿日期: 2012-11-01; 修订日期: 2014-09-30.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (70972001); 国家杰出青年科学基金资助项目 (70825003).

作者简介: 石晓军 (1974—), 男, 江苏如皋人, 博士, 教授, 博士生导师. Email: sxjstein@126.com

直接的有效手段. 原因在于, 获得相应的付款是承接商的最终目标之一, 因此, 包出方可灵活地运用付款条款激励、约束承接商. 本文的主要贡献就是以文献 [13] 的产权模型为基础, 融入期权特征, 设计含灵活期权的两阶段付款合同, 以达到外包风险控制的目的^②. 本文的合同设计思想可概括为: 包出方为了控制承接商的偷懒等道德风险行为, 可以通过“留置”第二阶段付款, 增加手中持有的灵活性期权价值, 以便相机处置. 如果承接商努力工作达到第一阶段的“收官”标准, 包出方就继续支付第二阶段付款. 直观上看, 这个合同可以形成对承接商的有效“威慑”, 从而促进他的努力程度, 对外包项目的风险进行有效控制.

本文的工作在四个方面区别于以往的文献. 第一, 采用包出方与承接商努力的“混合”性来刻画软件外包高度智力化、包出方和承接商密集互动的特征.

第二, 分别界定了包出方和承接商在软件外包中持有的实物期权的性质. 包出方持有的是一个带有中间检查标准的 Down-and-Out 障碍期权; 而承接商持有的是一个交换期权. 这比现有文献使用欧式期权、二叉树方法(如文献 [14 - 16]) 更清晰地刻画软件外包中的灵活性期权.

第三, 构建了包含双方期权价值的 Nash 谈判模型, 用以确定两阶段付款合同的关键参数(第一阶段付款比例或第二阶段付款留置比例). 采用 Nash 谈判模型也是因为包出方和承接商双方努力的混合性. 这种混合性使成果归宿难以准确界定, 从而难以事前在合同中确切规定分担条款, 而只能采用事后谈判的方式. 还提出了一个新的概念: 外包软件对包出方的价值膨胀因子.

第四, 采用了实验经济学的方法对理论部分的结果进行了实证检验. 这个工作提供了一种新的实证思路, 可供其他检验实物期权理论结论的研究做参考.

1 软件外包中的期权价值分析

软件外包的经济学分析中必须要考虑期权价值, 主要是因为软件外包合同标的资产价值的波动性是一种内在的显著特征. 第一, 作为外包合同中标的资产的软件是一种无形资产 (intangible asset), 它的开发过程是一个高度智力的过程, 具有内在的不确定性. 它的价值波动受到承接商能力 (capabilities) 与努力 (efforts) 的双重不确定的影响. 而事前, 即使承接商本身, 对其能力与努力随着项目进展而变化的情况也不能完全知晓. 第二, 从发包方的角度来看, 标的软件的净价值是软件资产的价值与项目成本之差. 同样由于软件开发过程对人力资本及智力的依赖, 以及事前无法完全精确设定需求及成本预算, 项目成本也是随着项目进展而波动.

标的软件资产价值的不确定性使得灵活性期权在软件外包合同中具有不可忽视的价值. 根据这个原理, 包出方可以设计两阶段付款合同, 通过中止付款期权的设置, 建立有效的承接商威慑机制, 促使承接商提高其努力水平. 设合同总额是 S , 第一阶段的付款比例为 $(1 - \phi)$, 第二阶段付款比例为 ϕ . 设置中止付款期权的触发点为 H . 对包出方而言, 实物期权的价值体现在他可以根据承接商第一阶段的表现, 也就是有没有触及触发点, 来决定第二阶段的合同是否值得延续, 是一种等待型的实物期权价值.

触发点设置为包出方对标的软件在第一阶段的最低净价值要求^③. 没有简单地设为外包软件项目的成本是否在合理范围内超过预算. 这样设置可以防止承接商为了满足第一阶段的触发要求而故意放慢工作进程.

同时还假设包出方须支付成本超预算部分,

② 之所以选择在产权模型的基础上融合实物期权特征, 主要是因为这个模型能够在理论抽象上相对于道德风险模型更好地描述外包中的资产转移过程. 当然, 这并不意味着道德风险模型中嵌入相关期权特性是不可能的, 只是从交换期权的视角来看, 将它融合到产权模型中更加直观.

③ 假设合同约定的包出软件的功能点 (functions points) 为 b , 在第一阶段实现的功能点为 b_1 , 软件对包出方的总价值为 v , 在第一阶段结束时成本为 c_1 , 净价值为 $\frac{b_1}{b}v - c_1$.

承接商才会工作, 这样, 包出方是能够观察到第一阶段的超支情况的^④。

在上述两阶段付款合同中, 包出方拥有的实物期权价值是一个分阶段付款的 down-and-out call option 的价值, 而标的资产的净价值取决于包出方的努力水平 e_c 和承接商的努力水平 e_v , 包出方对承接商的产权控制情况 δ_c . δ_c 是一个二元变量 $\delta_c \in \{0, 1\}$, 其中 $\delta_c = 1$ 表示包出方对承接商有产权控制. 根据文献 [12] 标的资产对于包出方的净价值为

$$\pi_c = V(1 + \lambda e_v + e_c) - A(1 - e_v) - \frac{\gamma}{2} [(1 - \delta_c) e_v^2 + e_c^2] \quad (1)$$

其中 V 是标的资产 (软件) 对包出方的预期的折现净市场价值, A 是包出方预期的承接商成本超支, 最后一项体现的是产权差异导致的净价值差异, 系数 γ 体现包出方付出努力带来的负效用, 系数 λ 表示的是承接商努力程度转化为包出方价值增加的效率^⑤。

再根据文献 [17], 可以写出包出方的实物期权价值为

$$DOC(H, S) = VN(a) - Se^{-rT} N(a - \sigma\sqrt{T}) - V\left(\frac{H}{V}\right)^{2\eta-1} N(b) + Se^{-rT} \left(\frac{H}{V}\right)^{2\eta-1} \times N(b - \sigma\sqrt{T}) \quad (2)$$

其中 (很明显, $S \geq H$)

$$a = \frac{\ln(V/S) + (r + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}} \quad (3)$$

$$b = \frac{\ln(H^2/V S) + (r + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}} \quad (4)$$

$$\eta = \frac{r}{\sigma^2} + \frac{1}{2} \quad (5)$$

事实上, $\phi = H/V$, 式 (2) 可以大大地简化为

$$DOC(H, S) = VN(a) - Se^{-rT} N(a - \sigma\sqrt{T}) - V\phi^{2\eta-1} N(b) + Se^{-rT} \phi^{2\eta-1} N(b - \sigma\sqrt{T}) \quad (6)$$

其中

$$b = \frac{\ln(\phi^2 V/S) + (r + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}} \quad (7)$$

将标的资产的净价值与包出方持有的触发期权价值合在一起就可以得到考虑到实物期权的情况下包出方的总价值函数为

$$\Omega_c = \pi_c(e_c, e_v) + DOC(\phi) \quad (8)$$

式 (8) 的重要优势在于它有效地体现了包出方的关键财务控制手段 ϕ 的价值, 这比文献中的模型有所进步, 它的一个直接用处就是可以在博弈的框架可以解出这个财务控制手段的激励相容解, 从而为包出方的实际决策提供参考. 而在经典的经济模型 (如文献 [12]) 框架下, 无法实现这个目的。

从承接商的角度来看, 他获得的净价值为

$$\pi_v = E[(1 - \phi + \phi I_{D_1 \leq H}) S] - D - \frac{1}{2} \delta_v e_v^2$$

其中 $I_{D_1 \leq H}$ 是一个示性函数. 为简洁起见, 假设第一阶段是否可以通过检查的概率取决于包出方和承接商的努力程度, 由于软件开发过程是一个交互程度很高的过程, 因此, 其实很难区分包出方和承接商各自努力的影响程度, 而是一个“混合”的努力决定最终的效果. 这也是软件外包合同很难事前完全规定清楚的一个根本性原因. 假设合成努力 $e = e_1 + e_2$ 服从均匀分布, 在 $[e, \bar{e}]$ 范围内. 而设定的标准 H 对应着一个努力程度的门槛 e , 那么, 通过检查的概率为

$$p = \frac{e - e}{e - e} \quad (9)$$

很显然, 如果合成努力小于门槛 e , 则概率值为 0, 就得不到下一阶段的付款。

此外 D 是承接商的支出, 不仅受到人力成本波动的影响, 也受到项目进程中可能需要的额外智力投入的影响, 可以假设 D 服从

$$\frac{dD}{D} = (\mu_d - \alpha_d) dt + \sigma_d dW_z \quad (10)$$

其中 μ_d 是支出的预期增长率, α_d 描述了投入的机会收益, σ_d 是支出的波动率. 而承接商预期的支出是双方合成努力的凸函数. 为简便起见, 假设为 $E[D] = B(e_1 + e_2)^2$.

④ 在软件外包的实际情况中, 这是可能的, 因为软件企业通常都是项目型组织, 某个项目组的预算通常都是依赖于该项目, 而还难以从其他项目或企业获得资源来弥补超支情况. 因此, 一旦出现超支, 如果是合理的, 通常都是和包出方协商支付。

⑤ 这里暗含着包出方的努力直接转化为价值增加, 比如包出方对承接商的严格筛选、过程中的认真控制、不断地提高与承接商的沟通效率等, 都可以直接增加价值. 但承接商的努力要通过生产的转化才能服务于包出方价值的增加, 这个生产过程的效率有高低, 因此需要一个参数来描述。

由于波动性的存在,承接商事实上还持有一个交换期权的价值,也就是以已完成的部分交换已获得的支付,这里着重体现的是承接商可以中止进程的实物期权价值.根据文献[18]的结果,这个交换期权的价值为

$$EX = E_p e^{-\alpha_v T} N(d_1) - E_D e^{-\alpha_d T} N(d_2) \quad (11)$$

其中 E_p 是承接商获得的期望支付,亦即 $E[(1 - \phi + \phi I_{D_1 \leq H}) S]$,其他的项包含的意思如下

$$d_1 = \frac{\ln(Pe^{-\alpha T} + \frac{1}{2}\sigma^2 T)}{\sigma\sqrt{T}} \quad (12)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (13)$$

$$P = V/E[D] \quad (14)$$

$$\alpha = \alpha_v - \alpha_d \quad (15)$$

将标的资产的净价值与承接方持有的交换期权价值合在一起就可以得到考虑到实物期权的情况下承接方的总价值函数为

$$\Omega_v = \pi_v(e_c, e_v) + EX(\phi) \quad (16)$$

2 努力的“混合”性、期权价值影响与两阶段付款设计

软件外包的一个非常重要的特点是包出方和

$$\begin{cases} -\theta \max\{0, \frac{e - e_c}{e - e_c}\} S + Se^{-rT} [\frac{rN(b - \sigma\sqrt{T})}{\sigma^2} + \frac{n(b - \sigma\sqrt{T})}{\sigma\sqrt{T}}] - V[\frac{rN(b)}{\sigma^2} + \frac{n(b)}{\sigma\sqrt{T}}] = 0 \\ (\theta - 1 + e^{-\alpha_v T} N(d_1)) \max\{0, \frac{e - e_c}{e - e_c}\} S = 0 \end{cases} \quad (19)$$

其中 $n(\cdot)$ 是标准正态分布的密度函数,也就是 $n(x) = \frac{e^{-x^2}}{\sqrt{2\pi}}$. 请注意,当 $x > 0$ 时 $n(x)$ 是 x 的减函数.

分两种情况进行讨论,首先,如果合成努力 $e < e_c$,式(17)的问题实质上就退化为包出方的单方面决策问题,也就是在只需要解式(19)中上面的方程就可以了,下面的方程就退化掉了.就是解下面的方程

$$\begin{cases} -\theta \{0, \frac{e - e_c}{e - e_c}\} + e^{-rT} [\frac{rN(b - \sigma\sqrt{T})}{\sigma^2} + \frac{n(b - \sigma\sqrt{T})}{\sigma\sqrt{T}}] - \varepsilon [\frac{rN(b)}{\sigma^2} + \frac{n(b)}{\sigma\sqrt{T}}] = 0 \\ \theta - 1 + e^{-\alpha_v T} N(d_1) = 0 \end{cases} \quad (21)$$

由于 b 是 ϕ 的函数,容易看出,式(20)是关

承接商努力的“混合性”,也就是,最终结果有多大程度可以归结为包出方的努力,多少可以归结为承接商的努力,是很难界定的.从博弈论的角度来看,就是双方对对方的信息并不能完全知晓,也就是应该用双方“同时行动”的模型来描述.而最终成果还需要在双方之间进行瓜分,这就需要双方之间的讨价还价.假设包出方的讨价还价权重为 θ ,则承接商的讨价还价能力权重即为 $(1 - \theta)$,而包出方和承接商的保留收入点(status quo)分别是 $\hat{\pi}_c, \hat{\pi}_v$.则在努力“混合”性影响下的 Nash 讨价还价模型可表示如下

$$\begin{cases} \max_{e_1+e_2, \phi} \theta(\hat{\Phi} - \hat{\pi}_v) + (1-\theta)\hat{\pi}_c + DOC(\phi) \\ \max_{e_1+e_2, \phi} (1-\theta)(\hat{\Phi} - \hat{\pi}_c) + \theta\hat{\pi}_v + EX(\phi) \end{cases} \quad (17)$$

其中

$$\hat{\Phi} = \pi_c(e_c, e_v) + \pi_v(e_c, e_v) \quad (18)$$

这是因为,在瓜分最终成果的时候,是对事后(ex post)的成果的划分,期权的影响已经消散了,因此不能考虑期权的价值影响.但是,在事前的(ex ante)的讨价还价时,期权的价值是要考虑的,是双方进行谈判的“潜在”筹码.

容易解得式(17)的解是下面的连列方程组的解

$$\begin{cases} e^{-rT} [\frac{rN(b - \sigma\sqrt{T})}{\sigma^2} + \frac{n(b - \sigma\sqrt{T})}{\sigma\sqrt{T}}] - \varepsilon [\frac{rN(b)}{\sigma^2} + \frac{n(b)}{\sigma\sqrt{T}}] = 0 \\ \varepsilon [\frac{rN(b)}{\sigma^2} + \frac{n(b)}{\sigma\sqrt{T}}] = 0 \end{cases} \quad (20)$$

其中 ε 是该软件对包出方而言外包的成本优势,也就是该软件价值 V 对外包价格 S 的膨胀因子 (V/S).

其次,如果合成努力 $e \geq e_c$,就需要解下面的方程组

于两个未知数 ϕ 以及 $e = e_1 + e_2$ 的非线性方程

组, 而其他的变量主要是 θ 、 S 、 V 、 B 、 ε 、 σ 、 T 、 r 都是外生的, 这意味着可以通过上述方程组解出 Nash 谈判均衡时的两阶段付款合同设计的关键参数 ϕ 以及在这个均衡的合同条件下共同的“合成”努力水平。

式(21) 求解的策略是先通过第二个方程解出合成努力水平(假定 $T=1$, 这个假定对结论没有影响, 但可以大大地简化公式的表示)

$$e^* = \sqrt{\frac{Ve^\alpha}{B[e^{\sigma N^{-1}[(1-\theta)e^{\alpha v}] - \frac{1}{2}\sigma^2]}}} \quad (22)$$

上述方程组很难求得解析解。首先分析一下结果的经济学含义。由上述结果可以看到, 影响两阶段付款合同设计参数的关键因素主要有: 第一, 外包软件价值的波动程度 σ 。事实上, 之所以要进行合同付款的分割, 以增加灵活性, 其根本的原因是因为外包软件项目价值的波动性。第二, 价值膨胀因子 ε 。对包出方而言, 外包的成本优势的显著程度是一个重要的决定因素。第三, 承接商对外包软件价值创造的成本效率 V/B 。这个因素是决定合成努力水平的关键因素, 如果承接商的价值创造效率高, 也就是 B 越小, 合成努力的均衡水平就越大。那么, 体现包出方和承接商之间不可分割的努力因素的水平项 $\theta \frac{e-e}{e-e}$ 也就越大, 对合同的付款分割参数的影响也就会越大。第四, 包出方与承接商之间谈判能力对比, θ 也是影响付款的分阶段合同设计的重要因素。谈判力对比不一样的两组包出方和承接商, 他们之间的付款合同参数设计也会有明显区别。两个因素体现了本文模型的优势。本文模型中最重要的一个前提假设是在高度智力过程的软件外包过程中, 承接商和包出方的努力是相互交叉渗透的, 很难十分清楚地分割出最终结果的努力归宿。这就不可避免地需要双方的共同努力, 而共同努力是建立在最终的成果分配机制基础上的。这样的逻辑就必然要求模型中很好地体现出包出方和承接商之间的谈判力对比(体现成果分配机制) 和共同努力的均衡水平。其实, 在以往的经典模型(如文献[12, 13]) 中, 努力和项目本身的波动并不能很好地融入统一的模型中, 要么只是体现了双方博弈的机制; 要么相反, 只体现波动等期权价值的影响要素, 而不能体现共同努力。

下面考虑 $r=0$ 的情形。考虑到 r 一般都接近于 0 而且像美国、日本等国家在金融危机或经济萧条的情况下确实实行了事实上的零利率政策, $r=0$ 的情形需要单独考虑。当 $e < \underline{e}$ 时, 有解析解为

$$\phi = e^{-\frac{\ln(\varepsilon) + \sigma^2}{4}} \quad (23)$$

这意味着, 当软件的外包价值越大时, 如果包出方预期到共同努力水平会低于中间检查标准时, 会设置越为苛刻的付款合同。这样可以加大包出方在第二次选择新的承接商时的价值。也就是, 如果现在的承接商不努力, 即使放弃, 也不会影响继续寻找新的承接商。软件价值膨胀因子越大, 包出方越不愿意对努力水平预期不高的承接商较高的初始付款, 从而加大包出方手中持有的进一步寻找承接商的选择权价值。由于 $\ln(\varepsilon) > 0$, 上式可以保证 $\phi \in (0, 1)$ 。

在波动率取 1 的情况下, 当外包软件对包出方的价值膨胀因子从 1.2 变化到 5 时, 两阶段付款合同的设计参数从 0.74 变化到 0.52。这个结果与实际的情况是比较吻合的, 通常, 第二阶段的付款控制应稍大于 35%, 才比较有威慑力。

当 $r=0$ 时, 另外的情形是合成努力 $e \geq \underline{e}$, 也就是包出方预期共同努力可以超越中间触发标准, 此时的解的一般形式是

$$\phi = e^{-\frac{\ln(\varepsilon) + \sigma^2}{4} + h(\theta \frac{V}{B})} \quad (24)$$

这里 $h(\theta \frac{V}{B})$ 是一个一般函数, 并没有确切的解析解, $h'(\theta) > 0$, $h'(\frac{V}{B}) > 0$ 。也就意味着, 当包出方预期到共同努力超出中间检查标准时, 价值的提高随着他对承接商成本效率的认同而得到提高, 也因此会加大第一阶段的付款力度。此时, 对承接商成本效率的认同, 就会抵消包出方提高保留继续选择承接商灵活期权的价值的愿望。当 $\theta=0.5$, V/B 在 1.5 到 3 之间变化时, 大约可以提高 5% 到 10% 左右的第一阶段付款水平。

对式(21) 设定合理参数(主要根据经济现实进行合理设定) 的情况下, 着重研究价值膨胀因子和项目的波动性对两阶段付款合同参数 ϕ 的影响。这是本文提出的方法首先要回答的两个主要的问题。显然, 式(21) 没有显式的解。用数值计算的方法, 可以得到两阶段合同付款参数与价值膨胀因子及项目波动性的相互关系如图 1 - 图 3 所示。

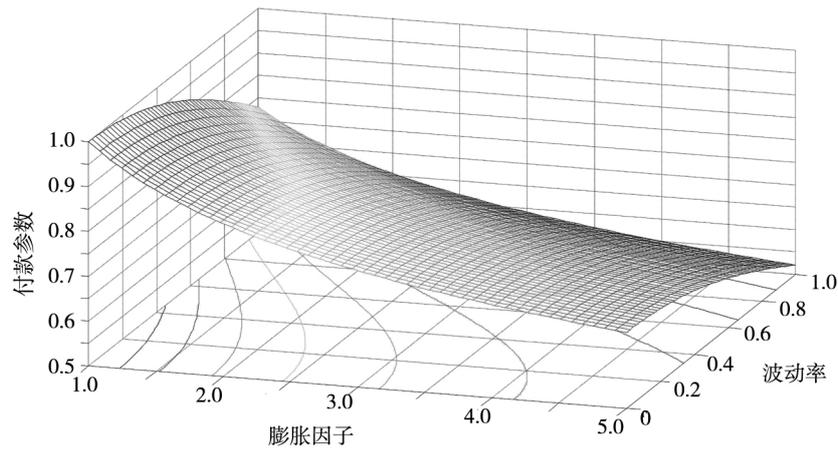


图1 两阶段合同付款参数与价值膨胀因子以及波动率的三维图形

Fig. 1 The three dimension graph of payment participating parameter , value inflation factor and volatility

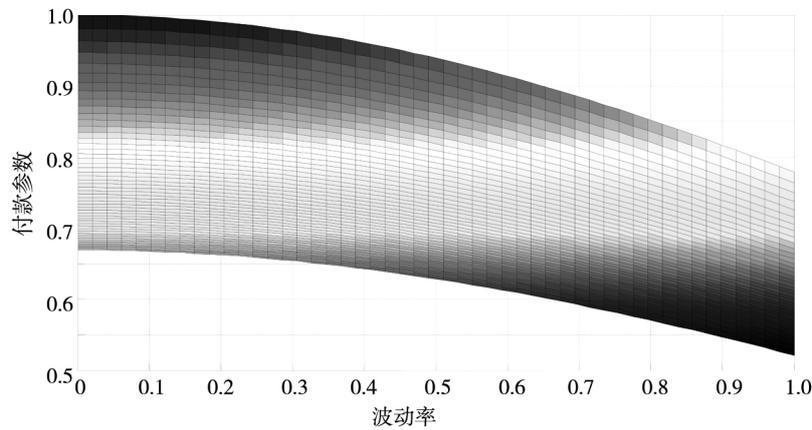


图2 两阶段合同付款参数与波动率的剖面图

Fig. 2 The sectional graph of payment participating parameter and volatility

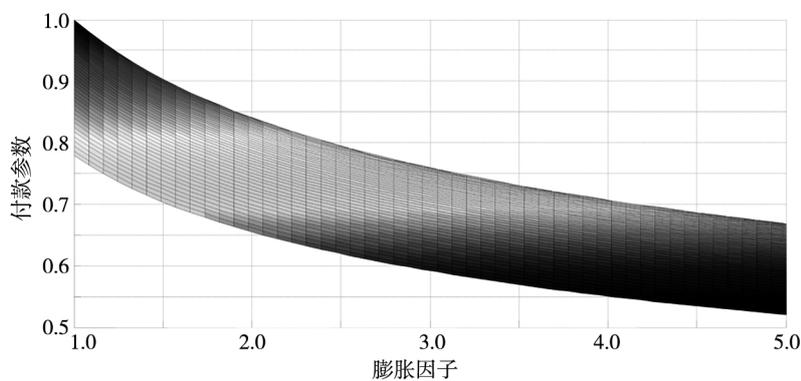


图3 两阶段合同付款参数与价值膨胀因子的剖面图

Fig. 3 The sectional graph of payment participating parameter and value inflation factor

至此,得到了三个重要的结论:

(1) 在软件外包的过程中设计两阶段的付款合同,可以提高软件外包项目协调的灵活性,从而有助于促进承接商更加努力地工作,有效地挤出

承接商人浮于事、偷懒等道德风险行为。

(2) 两阶段付款合同付款参数的设计首先受到外包项目本身特性的影响,如果对包出方的价值膨胀因子较大,在谈判力没有特别悬殊的差异

情况下, Nash 谈判的结果倾向于设定较低的第一阶段付款比例。

(3) 两阶段付款合同付款参数的设计还受到外包项目波动性的影响, 如果波动性较大, 在谈判力没有特别悬殊的差异情况下, Nash 谈判的结果倾向于设定较低的第一阶段付款比例。

3 实证

下面通过实验经济的方法检验理论部分得到的三个主要结论。采用实验经济的方法主要是出于两个方面的考虑: 第一, 现实合同中的书面条款是很多因素, 包括非经济因素(如政治因素等)综合作用下的平衡妥协的结果。因此, 通过合同来观察嵌入期权或尾部激励, 所观察到的是一个受众多因素干扰的有偏样本。第二, 更为棘手的问题是, 在现实中, 特别是在东方文化背景下, 书面合同常常比较笼统, 比如只规定总额, 但并不细致规定总额如何支付, 在具体执行合同时灵活处置、相机抉择。因此, 只从合同的文本来看, 无法观察到实际发生过的灵活性付款行为。基于以上两点, 本文没有采用通过合同文本阅读获取样本进行实证检验的方法, 而是直接从探测包出方资深外包经

理对付款灵活性价值认知的角度给出证据。

采用实验经济的方法来探测包出方资深外包经理的认知。实验设计的基本思路是: 首先, 提炼出影响软件离岸外包风险的关键属性(attributes) 并规定其二元属性水平(levels); 其次, 设计出不同属性在不同水平上的组合(profiles); 接着, 请资深外包经理对设计出的不同组合的风险进行5阶评价(本文设为分数越大风险越小); 最后, 通过对风险评价与各个属性变量之间的经济计量分析, 可以推断出外包经理认知的各个属性对软件外包项目风险管理的重要性。

从承接商和包出商两个角度提炼关键属性。首先, 本文提出的嵌入期权本质上都属于包出方在付款方面的灵活性(flexibility)。从承接商的角度, 是要看其应对包括付款方式在内的灵活性; 而从包出方的角度来看, 是要看她监控承接商行为变化的能力。其次, 就承接商的角度, 他的交流沟通能力、项目管理的能力、人员管理的能力(体现为项目的人员流失情况)是影响项目风险的关键属性。而就包出方的角度, 包出项目工期的紧迫性、离岸外包的相对成本优势、包出方自身的技术水平是决定包出方努力程度的关键属性。表1给出关键属性及其二元水平的定义。

表1 外包软件风险控制实验设计的关键属性及其水平定义

Table 1 Definitions of attributes and their levels used in the experiments to elicit software offshoring risks

		记号	说明	水平	
				高	低
承接商					
1	灵活性	<i>flex</i>	承接商应对包出方要求变化、付款变化等的灵活性程度。	灵活性高	灵活性低
2	沟通能力	<i>comm</i>	承接商跨文化沟通能力、技术问题的沟通能力与争议的沟通能力。	能力强	能力弱
3	项目管理能力	<i>proj</i>	承接商对外包项目的组织、进度管理、技术管理等方面的项目管理能力	能力强	能力弱
4	人员管理能力	<i>hum</i>	承接商人员流失情况	流失少	流失多
外包软件的性质					
1	软件复杂程度与规模	<i>comp</i>	外包软件的复杂程度以及规模大小	复杂	简单
2	软件质量的可以测量性	<i>qual</i>	外包软件的质量的可测量程度, 体现了软件质量的波动程度	容易	难
3	需求说明的具体程度	<i>requi</i>	包出方对软件需求说明的详细程度, 说明详细程度越低, 波动性越大	详细	模糊
4	需求的变化程度	<i>volit</i>	测量外包软件波动程度的一个直接指标, 如果包出方对需要在开发过程中常常变化, 则软件的波动程度大	大	小
包出方					
1	监控能力	<i>moni</i>	包出方监控承接商行为变化而相机决策的能力	能力强	能力弱
2	工期紧迫性	<i>urge</i>	工期越紧迫, 包出方越是投入更多的努力, 风险也得到更好的控制	紧	松
3	相对成本优势	<i>cost</i>	相对成本优势越大, 对包出方的外包价值也越大, 包出方越是投入更多的努力, 风险也得到更好的控制	强	弱
4	技术能力	<i>tech</i>	包出方的技术能力越强, 越有助于技术问题的解决, 越有助于风险的控制	强	弱

运用正交实验设计的方法,针对承接商和包出方的视角可以分别设计出 8 个组合,即可最大限度地涵盖经理通过打分释放出的认知信息,而不需要分别全组合.针对承接商的组合(V1 - V8)和包出方的组合(V9 - V16)分别见表 2 和表 3.

实际实验是在日本战略软件研究论坛(Strategic Software Research Forum)和日本电子与信息技术产业协会(Japan Electronics and Information Technology Industries Association)的帮助之下完成的.上述两个组织在日本的软件业有崇高的地位.实验的组织者包括日本大阪府立大学教授(本文作者之一)和来自中国和美国的学者.实验的第一个阶段是尝试性实验(pilot experiment),共有 33 名资深的软件外包经理和 7 名对软件外包研究有素的学者参与.通过第一阶段的尝试性实验,确认了属性选择的代表性与有效性、16 种虚拟组合的可辨认性,对实验设计的文字进行了进一步的修饰,使之无明显误导歧义并易于理解.在实验

的第二阶段,利用两个组织的年会期间,共随机抽取了 175 个软件外包经理参与了实验.实验开始时,用 30min 左右的时间,无偏向性地讲解了影响软件外包因素的含义.然后,让他们完成实验问卷的第一部分.在这个部分,要求经理们回忆一下他们最近完成的一个软件外包项目,然后,对该项目的 8 个属性的高、低水平进行评判,最后,对该项目的总体风险进行评价.这部分问卷的目的是为了让经理们通过自身经历的真实案例所获得经验真正熟悉属性的含义,并帮他们理清这些属性在他们看来的相对重要性.实验的主体部分开始前,也用 30min 左右的时间给经理们讲述下面的实验,重点说明组合是虚拟的,让他们仅仅从这些组合的属性水平的角度评判其外包风险的大小,而不用考虑其他的因素.在实验的过程中,经理对不太理解的方面可以向在场的学者询问.通过这样的信息交互和经理们的认真思考,完成了对实验的主体部分,对设计的虚拟组合的外包风险进行了打分.最终,得到 175 × 16 个实验观察结果.

表 2 针对承接商的 8 个实验组合设计
Table 2 The 8 experiment profiles for the vendors

		V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
1	灵活性	<i>flex</i>	L	L	L	H	L	H	H
2	沟通能力	<i>comm</i>	H	L	L	H	H	L	L
3	项目管理能力	<i>proj</i>	L	H	L	L	H	L	H
4	人员管理能力	<i>hum</i>	L	H	L	H	H	H	L

表 3a 针对外包软件的 8 个实验组合设计
Table 3a The 8 experiment profiles on the offshored software projects

		V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16
1	软件复杂程度与规模	<i>comp</i>	L	L	L	H	H	H	L
2	软件质量的可以测量性	<i>quali</i>	L	L	H	H	H	L	H
3	需求说明的具体程度	<i>requi</i>	H	L	L	L	H	H	H
4	需求的变化程度	<i>volit</i>	H	L	H	H	L	H	L

表 3b 针对包出方的 8 个实验组合设计
Table 3b The 8 experiment profiles for the clients

		V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16
1	监控能力	<i>moni</i>	L	L	L	H	H	H	L
2	工期紧迫性	<i>urges</i>	L	L	H	H	H	L	H
3	相对成本优势	<i>cost</i>	H	L	L	L	H	H	H
4	技术能力	<i>tech</i>	H	L	H	H	L	H	L

表 4 实验主体部分对 16 种虚拟组合打分(圈出 1~5 中的一个分数)

Table 4 Scores for the 16 possible portfolios in the main experiments (Tick one score among 1 to 5)

	外包风险很大	风险大	中等	可接受	外包风险小
V1	1	2	3	4	5
V2	1	2	3	4	5
V3	1	2	3	4	5
...	1	2	3	4	5
V16	1	2	3	4	5

3.1 灵活性的作用

首先检验的是外包经理是否认为无论是承接商应对变化的灵活性还是包出方监控行为变化能力都对软件外包项目的风险控制至关重要. 检验的回归模型是

$$scores_{ij} = \alpha + \zeta_1 moni + \zeta_2 flex + \zeta_3 tech + \zeta_4 proj + \zeta_5 comm + \zeta_6 hum + \varepsilon_v \quad (25)$$

其中 vs_{ij} 分别是第 i 个经理对第 j 个组合就包出方视角的打分,其他变量同表 1 和 2. 主要看系数 ζ_1 和 ζ_2 . 次序多项 logit 回归(ordered multinomial logit regression) 的估计结果如表 5. 表 5 证实了外包经理认为灵活性对软件外包的风险控制是至关重要的.

3.2 价值膨胀因子的影响

通过表 1 可以知道,成本优势 $cost$ 是直接对应价值膨胀因子的变量. 实证策略就是将这个变量与包出方以及承接商的灵活性期权价值指标

$moni$ 、 $flex$ 分别形成交叉项进入到基准方程(25)中进行估计. 显然,如果交叉项前的系数显著为正,即证实理论推断. 这个正的显著的系数意味着对于价值膨胀因子大的项目,需要包出方手中留有更大的灵活性期权,对承接商也须提高灵活性的应对要求. 也就是说,大的价值膨胀因子需要更强的灵活性控制手段. 在两阶段付款合同设计中就对应着留置较大的第二阶段付款. 次序多项 logit 回归估计结果如表 6. 表 6 的结果给出了支持性的证据.

表 5 灵活性对软件外包风险管理的重要性

Table 5 The significance of the flexibility for the software-offshoring risk management

包出方	系数	z	P 值
$moni$	2.26	19.44	0.00
$urge$	-1.32	-11.85	0.00
$cost$	2.41	20.64	0.00
$tech$	1.24	12.01	0.00

表 6 软件类型影响的检验

Table 6 Test the impacts of the type of software

	模型 1			模型 2		
	系数	z	P 值	系数	z	P 值
$flex$	-0.15	-0.37	0.72	-0.27	-0.59	0.55
$type* flex$	0.04	0.40	0.69			
$comp* flex$				0.05	0.72	0.47
$moni$	1.14	2.74	0.01	0.92	2.36	0.02
$comm$	0.96	2.13	0.03	1.00	2.28	0.02
$proj$	0.51	1.15	0.25	0.46	1.09	0.27
hum	0.52	1.55	0.12	0.56	1.67	0.10
$urge$	-0.75	-2.66	0.01	-0.86	-2.88	0.00
$cost$	0.27	0.81	0.42	0.25	0.80	0.42
$tech$	0.63	1.89	0.06	0.49	1.56	0.12

3.3 波动性的影响

用外包软件的性质作为检验波动性影响的工

具. 对于复杂的、质量难以准确测量的、需求规定的准确程度低的以及项目进行需求变动大的情况都

认为是波动性大的替代指标. 这样, 分别用 *comp*、*quali*、*requi*、*volit* 与描述包出方灵活性期权价值的变量 *moni* 以及对承接商灵活性要求的指 *flex* 形成交叉项进入到基准计量方程(25)中, 进行估计. 显然,

如果交叉项前的系数显著为正则证实了模型关于波动性的结论. 这个正的显著系数意味着需要包出方持有更大的灵活性期权以便于更强的控制; 对承接商的灵活性提出更高的要求. 估计的结果如表 7.

表 7 波动性的影响

Table 7 Test the impacts of volatility

Panel A												
scores	系数	<i>z</i>	<i>P</i>									
<i>moni</i>	0.78	12.56	0.00	0.94	14.21	0.00	0.74	11.99	0.00	1.13	16.18	0.00
<i>flex</i>	0.47	6.12	0.00	0.47	6.08	0.00	0.21	3.03	0.00	0.27	3.55	0.00
<i>flex</i> × <i>comp</i>	0.41	4.78	0.00									
<i>flex</i> × <i>quali</i>				0.39	4.69	0.00						
<i>flex</i> × <i>requi</i>							1.16	14.81	0.00			
<i>flex</i> × <i>volit</i>										0.84	9.39	0.00
<i>tech</i>	0.77	12.08	0.00	0.70	10.87	0.00	0.88	13.67	0.00	0.75	11.65	0.00
<i>comm</i>	0.42	6.61	0.00	0.61	9.80	0.00	0.61	10.01	0.00	0.63	10.34	0.00
<i>proj</i>	0.36	5.89	0.00	0.31	5.16	0.00	0.19	3.26	0.00	0.44	7.07	0.00
<i>humn</i>	0.42	7.00	0.00	0.36	5.91	0.00	0.46	7.58	0.00	0.27	4.40	0.00
Panel B												
scores	系数	<i>z</i>	<i>P</i>									
<i>moni</i>	0.26	3.55	0.00	0.69	9.59	0.00	0.34	4.82	0.00	0.21	3.09	0.00
<i>moni</i> × <i>comp</i>	1.14	14.21	0.00									
<i>moni</i> × <i>quali</i>				0.27	3.35	0.00						
<i>moni</i> × <i>requi</i>							1.15	14.15	0.00			
<i>moni</i> × <i>volit</i>										1.69	19.36	0.00
<i>flex</i>	0.54	8.88	0.00	0.72	11.84	0.00	0.64	10.56	0.00	1.04	16.45	0.00
<i>tech</i>	0.75	11.76	0.00	0.78	12.21	0.00	0.80	12.45	0.00	0.68	10.57	0.00
<i>comm</i>	0.48	8.03	0.00	0.50	8.28	0.00	0.84	13.12	0.00	0.59	9.77	0.00
<i>proj</i>	0.47	7.73	0.00	0.28	4.81	0.00	0.33	5.53	0.00	0.21	3.48	0.00
<i>humn</i>	0.29	4.85	0.00	0.34	5.54	0.00	0.43	7.14	0.00	0.10	1.59	0.11

4 应用建议

由于本文的模型无法解出第二阶段付款比例 ϕ 的显示解, 这大大地减少了本文结果的实际使用价值. 为了在一定程度上弥补这个缺陷, 主要根据第 3 部分极端情况(即式(23)和(24))以及通常参数设定下的数值分析结果(主要是图 1-3, 注意图中的纵轴是第一阶段付款比例), 给出几点应用建议:

(1) 根据极端情形的计算, 第二阶段付款保留比例须不小于 35, 才能对承接商产生较强的威慑力.

(2) 主要考虑软件的外包对发包商的经济

效率时(以中等波动水平为基准): 对很高的价值膨胀因子的情况, 第二阶段付款保留比例大致控制在 40 左右; 较高的价值膨胀因子, 第二阶段付款保留比例大致控制在 32 左右. 较低的价值膨胀因子, 第二阶段付款保留比例大致控制在 25 左右.

(3) 主要考虑软件的波动水平时(以较高的膨胀因子为基准): 如果某软件开发的波动性很高, 第二阶段付款保留比例大致控制在 40 左右. 中等波动性, 第二阶段付款保留比例大致控制在 32 左右. 波动性低, 第二阶段付款保留比例大致控制在 30 左右.

(4) 综合考虑外包经济效率与波动性时, 可以参考下表大致控制第二阶段付款保留比例:

表8 第二阶段付款保留比例参考值

Table 8 The reference values of the retention ratio of the payment in the second stage

价值膨胀因子	波动性		
	大	中	小
大	50%	40%	32%
中	40%	32%	25%
小	35%	30%	15%

在实际运用时,可以采用以下的步骤:对一个新的可外包软件项目,首先邀请若干有资深外包管理经验的经理和技术人员,对该软件项目的外包经济效率(价值膨胀因子)和外包过程中不确定程度(波动性)进行综合判断.第二步,综合专家们的判断,确定价值膨胀因子和波动性的综合评级.第三步,根据表8确定第二阶段付款保留比例的参考值.第四步,根据项目的实际情况和需要施加的约束力程度,对第三步的参考值进行一定的调整,确定最终的第二阶段付款保留比例,以备最终的谈判之用.

5 结束语

本文的主要贡献是在经典的外包的产权模型中考虑了外包双方的实物期权价值,并利用这个融合了双边灵活性期权价值的纳什谈判模型确定

了两阶段付款合同的设计.

本文的这个工作将经典的经济模型与实物期权的要素有效地结合起来,弥补了经典模型不能考虑外包软件不确定性特性的不足,同时又区别于一般的实物期权方法,它们通常缺乏明确的可解释的经济学含义.本文的模型给出两个重要的结论,一是关于外包软件对于包出方的价值膨胀因子,也就是表示成本优势的指标,对两阶段付款合同参数确定的影响;二是集中体现期权性质的外包项目波动性对两阶段付款合同参数设计的影响.这两个结论,一是回答经典的经济角度的问题;二是回答软件外包中独特的不确定性影响的问题.本文的模型预测,成本优势越大、不确定程度越大,包出方需要留置在手中的灵活性就应该越大,也就是要留置较大的第二阶段付款量.

检验包含实物期权模型的主要结论一直以来都是一个比较难以解决的问题.本文提供了一种实验经济的方法对灵活性期权价值的作用进行检验.根据软件外包的特点,本文设计了覆盖包出方、承接商和外包软件本身特点的可能的组合,通过资深软件外包经理的认知,利用计量方法推断出灵活性期权的作用.本文的实验证据验证了包出方和承接商的灵活性期权对软件外包风险的抑制都有积极的作用,而且,也验证了价值膨胀因子越大、不确定性越大的软件外包需要更大的灵活性控制.

参考文献:

- [1]Khan S U , Niazi M , Ahmad R. Factors influencing clients in the selection of offshore software outsourcing vendors: An exploratory study using a systematic literature review [J]. Journal of Systems and Software ,2011 ,84(4) : 686 - 699.
- [2]Meyer B. The unspoken revolution in software engineering [J]. Computer ,2006 ,39(1) : 121 - 124.
- [3]Lacity M , Khan S A , Willcocks L. A review of the IT qutsourcing literature: Insights for practice [J]. The Journal of Strategic Information Systems ,2009 ,18(3) : 130 - 146.
- [4]Lacity M , Khan S , Yan A , et al. A review of the IT outsourcing empirical literature and future research directions [J]. Journal of Information Technology ,2010 ,21: 1 - 39.
- [5]Tiwana A , Bush A A. A comparison of transaction cost , agency , and knowledge-based predictors of IT outsourcing decisions: A U. S. -Japan cross-cultural field study [J]. Journal of Management Information Systems ,2007 ,24(1) : 259 - 300.
- [6]Sheng Z , Nakano M , Kubo S , et al. Experimental risk estimation for offshore software outsourcing [J]. IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering ,2008 ,3(3) : 338 - 344.
- [7]Shi X J , Tsuji H , Zhang S M. Introducing heterogeneity of managers' attitude into behavioral risk scoring for software off shoring [J]. Systems Research and Behavioral Science ,2012 ,29: 299 - 316.
- [8]Osei-Bryson K M , Ngwenyama O K. Managing risks in information systems outsourcing: An approach to analyzing outsourcing risks and structuring incentive contracts [J]. European Journal of Operational Research ,2006 ,174: 245 - 264.

- [9] 李晓燕, 毛基业. 动态能力构建——基于离岸软件外包供应商的多案例研究[J]. 管理科学学报, 2010, 13(11): 55-64.
Li Xiaoyan, Mao Jiye. Development of dynamic capabilities by vendors in offshore software outsourcing: A multiple-case study[J]. Journal of Management Sciences in China, 2010, 13(11): 55-64. (in Chinese)
- [10] 阚红星, 杨善林, 吴晓琴, 一种软件自动测试风险判别和规避模型[J]. 中国管理科学, 2008, 16(5): 123-127.
Kan Hongxing, Yang Shanlin, Wu Xiaoqin. A model of risk judgment and avoidance for software test automation[J]. Chinese Journal of Management Science, 2008, 16(5): 123-127. (in Chinese)
- [11] 吴登生, 宋浩, 李建平, 等. 带优化参数的SVR模型及在软件成本估算中的应用[J]. 运筹与管理, 2011, 20(1): 143-149.
Wu Dengsheng, Song Hao, Li Jianping, et al. Hybrid support vector regression model with optimized parameter for software effort estimation[J]. Operations Research and Management Science, 2011, 20(1): 143-149. (in Chinese)
- [12] Banerjee A V, Dufflo E. Reputation effects and the limits of contracting: A study of the Indian software industry[J]. Quarterly Journal of Economics, 2000, 115(3): 989-1017.
- [13] Feenstra R C, Hanson G H. Ownership and control in outsourcing to China: Estimating the property-rights theory of the firm[J]. The Quarterly Journal of Economics, 2005, 120(2): 729-761.
- [14] Erdogmus H. Valuation of learning options in software development under private and market risk[J]. The Engineering Economist, 2002, 47(3): 308-353.
- [15] Li J, Su X. Making Cost Effective Security Decision with Real Option Thinking[C]. International Conference on Software Engineering Advances (ICSEA 2007).
- [16] Chen T, Zhang J L, Lai K-K. An integrated real options evaluating model for information technology projects under multiple risks[J]. International Journal of Project Management, 2009, 27: 776-786.
- [17] Brockmana P, Turtle H J. A barrier option framework for corporate security valuation[J]. Journal of Financial Economics, 2003, 67(3): 511-529.
- [18] McDonald R, Siegel D. Investment and the valuation of firms when there is an option to shut down[J]. International Economic Review, 1985, 26(2): 331-349.

Two-stage payment contract design for software offshoring: A Nash bargain method embedded with bilateral real options

SHI Xiao-jun¹, ZHANG Shun-ming¹, Hiroshi Tsuji²

1. School of Finance, Renmin University of China, Beijing 100872, China;

2. College of Sustainable System Science, Osaka Prefecture University, Osaka 5990581, Japan

Abstract: We propose a two-stage payment contracting to mitigate offshoring risk by means of taming the vendor's possible moral hazard behavior. By capturing the real-option features in the offshoring, we expand the classic property-right models for outsourcing by Feenstra and Hanson. We specify the client's flexibility in this contracting as a down-and-out barrier call option while the vendor's as an exchange option. We use the mixed efforts of the client and the vendor to characterize the complex process of software offshoring. Also, a Nash bargaining structure is employed to find the equilibrium ratio of the first stage payment incorporating the option values, due to the mixed nature which makes it hard to specify the terms of contracts in an ax ante manner. An experimental method covering the features of the client, the vendor and the software is designed to elicit the perceptions of the option values from the seasoned managers in Japan's software offshoring. Using the data from the experiments, we find strong evidence supporting our model predictions on the impacts of options, volatilities and value-inflation-factor on the payment arrangement.

Key words: software offshore outsourcing; real options; two-stage payment contracting