

文章编号: 2096-1472(2016)-07-14-04

一种Web服务QoS属性的不确定权重计算方法

樊志强, 李 宁, 郝 博

(华北计算技术研究所, 北京 100083)

摘 要: 功能相同或类似的Web服务选择时需考虑服务的QoS属性及权重, 由于用户对QoS属性的偏好具有主观认知的不确定性, 并且某些QoS属性值也通常不是确定的。因此, QoS属性的权重具有不确定性。针对QoS属性的不确定权重求解问题, 使用云模型表示主观认知的不确定性, 基于用户偏好信息, 利用归一化和最小二乘法求解主观权重, 基于QoS属性值利用熵方法求解客观权重, 并使用科布一道格拉斯方法合成主、客观权重, 能够有效表达由主观认知和QoS属性值造成的权重不确定性。

关键词: QoS属性; 不确定权重; 云模型; 熵方法

中图分类号: TP311 **文献标识码:** A

A Method for Calculating Uncertain Weight of Web Service QoS Criterion

FAN Zhiqiang, LI Ning, HAO Bo

(North China Institute of Computing Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: The weight of web service QoS criteria is crucial when selecting web service with same or similar functions. Since the subjective cognition uncertainty of user's preference on QoS criterions and the uncertainty of some QoS criterion values, the weight of QoS criterion is uncertain as well. The paper proposes to use uncertain weight to present the weight of QoS criterions. For subjective weight, it is solved using normalization method or least square method based on user's preference, and the uncertainty is described by cloud model. For objective weight, the certain weight is obtained using entropy method with supplements based on the values of criterions. For synthetic weight, Cobb-Douglas method is used to synthesize subjective and objective weight. Our proposed method can effectively describe the uncertainty of weight caused by subjective cognition and QoS criterion values.

Keywords: QoS criterion; uncertain weight; cloud model; entropy method

1 引言(Introduction)

随着Web服务技术的发展和流行, 互联网上有越来越多的Web服务, 出现了许多功能相同或类似的Web服务。QoS(Quality of Service)便成为选择Web服务的基准。QoS是指Web服务的非功能质量属性, 可以用来区分具有相同功能的Web服务。Web服务的QoS属性可以分为两类: (1)效益型属性, 对于这类属性, 人们往往希望越高越好, 如信誉度、成功执行率。(2)成本型属性, 对于这类属性, 人们往往希望越低越好, 如执行费用。通常情况下, 具有相同功能的不同Web服务其QoS属性各有所长, 需要综合考虑各个QoS属性的重要程度再进行选择, 因此, QoS属性权重的表示和求解成为一个关键问题。现有研究将Web服务QoS属性的权重分为三种: (1)主观权重: 基于用户对QoS属性的偏好信息求得的权重。(2)客观权重: 基于Web服务的QoS属性值求得的权重。(3)综合权重: 将主观权重与客观权重合成得到的权重。

(1)主观权重: Amina^[1]、Huang^[2]和Sun^[3]认为权重应由用户或服务请求者直接给出。Hu^[4]和Cao^[5]的研究通过让用户给出QoS属性的两两比值来求得属性的权重。然而, 实际应用中, 用户很难直接给出各个QoS属性的权重值或属性两两比值, 用户往往更习惯于给出属性权重的定性值。Xiong^[6]和Zhang^[7]的研究根据用户给出QoS属性权重的定性值来计算属性权重的定量值, Chen^[8]和刘^[9]的研究根据用户给出的QoS属

性两两比较的定性值计算权重的定量值。这些研究都基于模糊理论将具有模糊性的定性值转化为定量值, 然而, 用户给出的定性值(定性概念)不仅具有模糊性, 也具有随机性, 应该对两者综合考虑来表示定性值更适合^[10]。

(2)客观权重: Xiong^[6]用熵方法求客观权重, Hu^[4]和Cao^[5]利用最小化与理想方案差距的方法求客观权重。使用熵方法求得的权重, 当不同Web服务的同一QoS属性值相差越大, 则该属性的权重越大, 相差越小, 属性权重越小。而Hu^[4]和Cao^[5]的方法求解的结果则刚好相反。为了能够较好的区分Web服务, 使用熵方法求解客观权重更合理。

(3)综合权重: 主观权重反映用户的偏好信息, 客观权重体现Web服务QoS属性值的特点, 两种方法各有优点和不足, 因此, Hu^[4]和Xiong^[6]提出将主观权重和客观权重进行综合, 通过加权平均将主、客观权重合成为一个权重。但是他们的研究对所有QoS属性的主、客观权重都给定相同的比例, 应该考虑每个QoS属性的主、客观权重的比例更为合理。

上述研究中, 无论主观权重、客观权重还是综合权重, 其权重值都是确定的定量值。然而, 从影响权重的因素来看, 无论是用户的偏好信息还是Web服务的QoS属性值, 都具有一定的不确定性。用户用定性概念表示对QoS属性的偏好, 如“要”“不太重要”, 而定性概念所对应的定量值往往又是不确定的, 因此, 基于定性的用户偏好信息求取的主观权

重具有不确定性。Web服务的某些QoS属性值也具有不确定性，如服务的执行时间，多次调用同一服务的同一操作得到的执行时间也是不同的，所以客观权重也应具有不确定性，因此，综合权重也显然具有不确定性。从用户选择的角度来看，若两个Web服务QoS属性值各有优劣，用户可能有时觉得这个好，有时感觉另外一个好，而基于确定权重值选择的结果是固定的，不能体现用户选择的不确定性。因此，确定的权重不能很好地反映用户偏好信息及Web服务属性值的不确定性，而不确定的权重更适合表示Web服务QoS属性的权重。

针对上述问题，本文提出用不确定权重表示Web服务QoS属性的权重，并给出主观、客观及综合权重的表示和求解方法。主观权重根据用户对QoS属性的偏好求得，客观权重基于Web服务QoS属性值使用熵方法求解；综合权重考虑不同QoS属性的主、客观权重的比例。本文其余部分组织为：第2节介绍基本概念，包括云模型和熵方法；第3节介绍不确定权重的求解方法，包括主观权重(3.1节)、客观权重(3.2节)、综合权重(3.3节)及求解算法(3.4节)四个部分；第4节对全文进行总结。

2 基本概念(Basic concepts)

2.1 云模型

用定性概念表达用户对Web服务QoS属性的偏好往往更真实且具备普遍性，但是在进行运算时还需要将定性值转化为定量值，云模型^[10]能够进行定性定量知识之间的相互转化，而且云模型在表达定性概念时对模糊性和随机性进行了统一，更符合人类认知不确定性的特点。

定义1云和云滴：设 U 是一个用精确数值表示的定量论域， C 是 U 上的定性概念，若定量值 $x \in U$ ，且 x 是定性概念 C 的一次随机实现， x 对 C 的确定度 $\mu(x) \in [0, 1]$ 是具有稳定倾向的随机数，则 x 在论域 U 上的分布称为云，每一个 x 称为一个云滴。

$$\mu: U \rightarrow [0, 1] \quad x \in U \quad x \rightarrow \mu(x)$$

定义1中的随机实现，是概率意义下的随机实现。 X 对 C 的确定度 μ 是模糊集意义下的隶属度，同时具有概率意义下的分布特征。因此，不难看出，云模型能够较合理地体现随机性和模糊性间的关联性。云模型使用期望 Ex 、熵 En 和超熵 He 表示云的整体特征， Ex 、 En 和 He 称为云的数字特征。 Ex 是在论域空间最能够代表定性概念的点，或者说是这个概念量化的最典型样本。 En 代表定性概念的可度量粒度，熵越大，通常概念越宏观，也是定性概念不确定性的度量，由概念的随机性和模糊性共同决定。 He 是熵的不确定性度量，即熵的熵，由熵的随机性和模糊性共同决定。

定义2一维正态云：设 U 是一个用精确数值表示的定量论域， C 论域 U 上的定性概念，若定量值 $x \in U$ ，且 x 是定性概念 C 的一次随机实现，若 x 满足 $x \sim N(x, En^{-1})$ ，其中 $En \sim N(En, He^2)$ ，且 x 对 C 的确定度满足公式(1)，则 x 在论域 U 上的分布称为一维正态云。

$$\mu = e^{-\frac{(x-Ex)^2}{2(En)^2}} \quad (1)$$

正态云是云模型中一类重要的模型，其云滴的定量值由标准正态分布函数决定；而云滴的确定度函数则采用模糊集合论中广泛使用的正态隶属函数。本文所涉及的云模型均为一维正态云模型。

云模型的另一重要特征是可以实现定性值和定量值的不确定性转换。正向云发生器是从定性到定量的映射，它根据云的数字特征(Ex , En , He)产生云滴。逆向云发生器实现从定量值到定性概念的映射。正、逆向云发生器如图1所示。

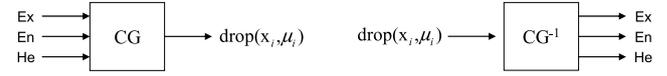


图1 正向、逆向云发生器

Fig.1 Forward and backward cloud generator

正向正态云发生器生成云滴的算法在文献[10]中给出，逆向正态云发生器的算法有多种，本文采用文献[11]提出的算法。

2.2 熵方法

信息学中，熵是不确定性的一个指标，可以用来度量某个信息中期望的信息含量。香农给出的信息熵的定义如下：

$$S(P_1, P_2, \dots, P_n) = -k \sum_{j=1}^n P_j \ln P_j$$

其中， k 是正常数， P_i 是离散的概率分布，当所有 $P_i=1/n$ ， $i=1, \dots, n$ 时， $S(P_1, P_2, \dots, P_n)$ 取得最大值。

由于Web服务的QoS属性值包含一定的信息量，可以使用熵方法来评估QoS属性的权重。对于 m 个功能相同的Web服务， n 个QoS属性，可构成矩阵 D ，其中， $WS = \{ws_i | i=1, \dots, m\}$ 表示具有相同功能的Web服务， $C = \{c_j | j=1, \dots, n\}$ 来表示这些Web服务的QoS属性。

$$D = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ ws_1 & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Web服务 ws_i 关于属性 C_j 的评价 X_{ij} 定义为：

$$X_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, \quad i=1, \dots, m; j=1, \dots, n$$

令 $P_{ij}=X_{ij}$ ，则方案关于 c_j 的熵 E_j 为： $E_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij}$ ， $j=1, \dots, n$ 。其中 $k=1/\ln m$ ，是一个常量，用来保证 $0 \leq E_j \leq 1$ 。信息偏差度可以定义为 $d_j=1-E_j$ ， d_j 越大表示不同Web服务的属性值 X_{ij} 相差越大。使用熵方法计算不确定客观权重将在3.2节中进一步说明。

3 QoS属性的不确定权重 (Uncertain weight of QoS criteria)

我们用 $W = (w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_n)^T$ 来表示Web服务QoS属性的权重，其中 w_j 表示属性 C_j 的权重， SW 、 OW 、 SOW 分别表示主观权重、客观权重和综合权重。

3.1 主观权重

用户对QoS属性偏好的主观不确定性可以用云模型的数字特征来表示，如表1和表2所示，而基于用户偏好求得的不确定主观权重也适合用云模型的数字特征表示，即用 $(sw_j^{Ex}, sw_j^{En}, sw_j^{He})$ 表示 sw_j ， sw_j^{Ex} 、 sw_j^{En} 、 sw_j^{He} 分别为 sw_j 的期望、熵和超熵， sw_{jk} 表示 sw_j 的一个云滴。

用户可以通过两种方式表示对QoS属性的偏好：(1)直接给出每个QoS属性偏好的定性值，可使用公式(2)计算 sw_{jk} 。

其中 a_j 表示用户对 c_j 偏好的定性值, a_j 的取值可参考表1, x_{jk} 是 a_j 的一个云滴; (2)给出QoS属性两两比较的定性值, 我们用 A 表示QoS属性两两比较的矩阵, 其中 a_{ij} 表示两两比较的定性值, 取值可参考表2, x_{ijk} 为 a_{ij} 的一个云滴。可采用最小二乘法, 通过解决公式(3)的优化问题求得 sw_{jk} , 具体的求解过程可见文献[12]的3.1.2节。以上两种方法最终通过公式(4-6)求得 SW , g 表示 a_j 或 a_{ij} 的云滴个数。

$$sw_{jk} = \frac{x_{jk}}{\sum_{j=1}^n x_{jk}} \quad (2)$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & w_n/w_n \end{bmatrix}$$

$$\min z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (x_{ijk} sw_{jk} - sw_{ik})^2 \quad (3)$$

$$s.t. \sum_{i=1}^n sw_{jk} = 1, sw_{jk} > 0, i \in N$$

$$sw_j^{Ex} = \frac{1}{G} \sum_{k=1}^g sw_{jk} \quad (4)$$

$$sw_j^{En} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \times \frac{1}{G} \sum_{k=1}^g |sw_{jk} - sw_j^{Ex}| \quad (5)$$

$$sw_j^{He} = \sqrt{\frac{1}{G-1} \sum_{k=1}^g (sw_{jk} - sw_j^{Ex})^2 - (sw_j^{En})^2} \quad (6)$$

表1 用户偏好的定性值

Tab.1 Qualitative value of user's preference

定性值	最重要	很重要	重要	比较重要	一般	不太重要	不重要	很不重要	最不重要
期望(Ex)	9	8	7	6	5	4	3	2	1
熵(En)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
超熵(He)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

表2 用户偏好的定性比率

Tab.2 Qualitative ratio of user's preference

定性值	非常重要	很重要	重要	比较重要	同样重要	不太重要	不重要	很不重要	非常不重要
期望(Ex)	5	4	3	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5
熵(En)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
超熵(He)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

上述两种方法均可求解主观权重, 方法一需要对所有的QoS属性的重要程度进行对比, 然后给出每个属性重要程度的定性值, 方法二只需将QoS属性的重要性两两做比较, 不需要将所有QoS属性放在一起比较。当QoS属性较少时, 使用方法1和2都可以, 且方法一相对更简单一些, 当QoS属性较多时, 使用方法2更容易让用户给出偏好信息。心理学研究人员通过实验表明, 普通人能够区别的等级在5级至9级, 并推荐定性属性量化等级尽可能用9个等级, 且为了习惯于方便, 推荐取0至10之间的整数, 0和10通常留作特殊情况使用^[12]。因此,

我们在表1和表2, 以及后面的等级划分中均采用了9个等级, 且取之为1至9, 而云模型中 En 和 He 往往会分别比 Ex 小一两个数量级。

3.2 客观权重

Web服务某些QoS属性值具有不确定性, 但是这些属性值不确定的特点不尽相同。信誉度通常由用户给出, 具有主观认知的不确定性, 执行时间具有随机性, 且在不同的时间和地点也不同, 可用性也因访问的时间不同会不同。由于不同QoS属性不确定的特点不同, 因此, 无法用统一表示QoS属性的不确定, 但为了计算方便且又能体现QoS属性值的特点, 通常选取最能代表QoS属性特点的值用于计算, 如均值。

熵方法中的信息偏差度 d_j 代表不同Web服务在QoS属性 C_j 的差异情况, 我们使用公式(7)计算客观权重 OW 。熵方法求取的QoS属性权重与Web服务的QoS属性值有关。对于某个QoS属性, 若所有的Web服务具有相近的结果, 则该属性的权重也较小; 若某个属性所有Web服务的结果差异非常大, 则属性的权重也较大。特别地, 若某个属性所有Web服务结果都相同, 则属性的权重为0。

$$ow_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (7)$$

3.3 综合权重

现有研究中, Hu^[4]和Xiong^[6]使用公式(8)对主、客观权重进行综合, 徐^[12]则提出如公式(9)所示的综合方法, 但都没有对其综合的意义进行说明。根据微观经济学中的消费者偏好行为^[13], 公式(8)的综合方法类似于消费者的完全替代型偏好的特点, 即在综合时, 认为QoS属性的主、客观权重可以完全互相替代, 而公式(9)的综合方法类似于消费者的好行为偏好特点, 即在综合时, 希望QoS属性的主、客观权重都越大越好、不希望其中一个特大而另外一个特小。为了能够明显的对Web服务进行区分, 我们希望QoS属性的主、客观权重都越大越好, 且不希望两个相差较大, 因此, 我们采用科布-道格拉斯效用函数^[13]将主客观权重进行综合, 如公式(10)。可以看出, 公式(10)与公式(9)非常像, 不同之处就是通过指数参数 α 对主客观的比例进行调节。

$$sow_j = \frac{\alpha \cdot sw_j + (1-\alpha) \cdot ow_j}{\sum_{j=1}^n \alpha \cdot sw_j + (1-\alpha) \cdot ow_j} = \alpha \cdot sw_j + (1-\alpha) \cdot ow_j \quad (8)$$

$$sow_j = \frac{sw_j \cdot ow_j}{\sum_{j=1}^n sw_j \cdot ow_j} \quad (9)$$

$$sow_j = \frac{(sw_j)^\alpha \cdot (ow_j)^{1-\alpha}}{\sum_{j=1}^n (sw_j)^\alpha \cdot (ow_j)^{1-\alpha}} \quad (10)$$

主、客观权重综合时, 各个QoS属性主、客观权重比例可能会不同, 用 $B^{ql} = (b_1^{ql}, b_2^{ql}, \dots, b_j^{ql}, \dots, b_n^{ql})^T$ 表示主观权重比例的定性值, 取值可参考表3, $B_k^{qn} = (b_{1k}^{qn}, b_{2k}^{qn}, \dots, b_{jk}^{qn}, \dots, b_{nk}^{qn})^T$ 表示 B^{qn} 的第 k 个云滴。利用公式(12)求得综合权重 sow_{jk} 。SOW通过公式(12)—公式(14)求解。

$$sow_{jk} = \frac{(sw_{jk})^{b_{jk}^{qn}} \cdot (ow_j)^{1-b_{jk}^{qn}}}{\sum_{j=1}^n (sw_{jk})^{b_{jk}^{qn}} \cdot (ow_j)^{1-b_{jk}^{qn}}} \quad (11)$$

$$sow_j^{Ex} = \frac{1}{G} \sum_{k=1}^g sow_{jk} \quad (12)$$

$$sow_j^{En} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \times \frac{1}{G} \sum_{k=1}^g |sow_{jk} - sow_j^{Ex}| \quad (13)$$

$$sow_j^{He} = \sqrt{\frac{1}{G-1} \sum_{k=1}^g (sow_{jk} - sow_j^{Ex})^2 - (sow_j^{En})^2} \quad (14)$$

表3 主观权重比例的定性值

Tab.3 Qualitative value of subjective weight proportion

定性值	全部	绝大部分	很大部分	大部分	较大部分	一半	较小部分	小部分	很小部分	绝小部分	没有
期望(Ex)	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0
熵(En)	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0
超熵(He)	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0

3.4 权重算法

云模型虽然可以很好地表达定性概念，实现定性定量值之间的转化，但是云模型的三个数字特征还无法直接进行复杂运算，在求解权重时，首先用正向云生成器将定性值转化为多组定量值，根据每组定量值计算一次权重，得到一组权重，这样就会得到多组权重值，再通过逆向云生成器得到不确定权重。设A为用户偏好信息的矩阵，D为Web服务QoS属性值矩阵，B为主、客观权重的合成比例的定性值，Ai、Bi表示利用正向云生成器生成的云滴，SW、OW、SOW分别代表不确定的主观、客观、综合权重，SWi、SOWi代表利用Ai、Di计算得到的主观、客观、综合权重，算法具体如下：

```

UncertainWeightAlgorithm(A, D, B)
{
    int n; //云滴的个数
    //利用正向云生成器产生A和D对应的n个云滴
    GenerateCloudDrop(A, n);
    //利用正向云生成器产生B对应的n个云滴
    GenerateCloudDrop(B, n);
    OW=ComputerObjectWeight(D); //计算客观权重
    for (int i=0; i<n; i++)
    {
        SWi=ComputerSubjectWeight(Ai);
        SOWi=ComputerSyntheticWeight(SWi, OW, Bi);
    }
    //利用逆向云生成器将n个SOWi转化为SOW
    GenerateUncertainSubjectWeight(SW);
    //利用逆向云生成器将n个SOWi转化为SOW
    GenerateUncertainSyntheticWeight(SOW);
}
    
```

4 结论(Conclusion)

相同功能的Web服务进行选择时，QoS属性的权重设置是一个关键问题，使用不确定权重能够综合反映用户的主观偏好信息及Web服务QoS属性值的客观特点，并在权重综合时可通过比例调节平衡两者。因此，Web服务选择时，使用不确

定权重更为合理。此外，不确定权重由于具有不确定性，并可利用云模型生成合理的多组权重值，从而能够为权重敏感性分析提供合理的权重量化值。

参考文献(References)

- [1] Amina Ahmed Nacer, et al. A Multi-criteria Based Approach for Web Service Selection Using Quality of Service(QoS) [C]. 2015 IEEE International Conference on Services Computing, 2015: 570-577.
- [2] Huang Yingchun, Zhong Rui, Liu Hengchi. QoS Information of Interval Number in Web Service Selection [C]. 8th International Symposium on Computational Intelligence and Design, 2015: 404-407.
- [3] Lei Sun, et al. QoS Uncertainty Filtering for Fast and Reliable Web Service Selection [C]. 2014 IEEE International Conference on Web Services, 2014: 550-557.
- [4] Jianqiang Hu, et al. Quality Driven Web Services Selection [C]. IEEE International Conference on e-Business Engineering, Beijing, 2005, 12: 681-688.
- [5] Hefeng Cao, et al. A Service Selection Model with Multiple QoS Constraints on the MMKP [C]. IFIP International Conference on Network and Parallel Computing Workshops, Liaoning, October 22, 2007: 584-589.
- [6] Pengcheng Xiong, Yushun Fan. QoS-aware Web Service Selection by a Synthetic Weight [C]. Fourth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, Haikou, December 18, 2007: 632-637.
- [7] Yong Zhang, Shen-Sheng Zhang, Song-Qiao Han. A New Methodology of QoS Evaluation and Service Selection for Ubiquitous Computing [J]. Lecture notes in computer science, 2006, 41(38): 69-80.
- [8] Mei-Fang Chen, Gwo-Hshiong Tzeng, Ding C G. Fuzzy MCDM Approach to Select Service Provider [C]. The 12th IEEE International Conference on Fuzzy Systems, July 09, 2003: 572-577.
- [9] 刘晓光, 金焯. 网络服务自动化中基于非功能性条件约束的服务选择研究 [J]. 计算机集成制造系统, 2006, 12(002): 297-300.
- [10] 李德毅, 杜鹁. 不确定人工智能 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [11] Liu Chang-yu, et al. A New Algorithm of Backward Cloud [J]. Journal of System Simulation, 2004, 16(11): 2417-2420.
- [12] 徐玖平, 吴巍. 多属性决策的理论与方法 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [13] 欧瑞秋, 王则柯. 图解微观经济学 [M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2005.

作者简介:

樊志强(1983-), 男, 博士, 工程师. 研究领域: 服务化软件, 系统集成, 软件开发.
 李宁(1986-), 男, 硕士, 工程师. 研究领域: 软件自动化测试, 软件开发.
 郝博(1986-), 女, 硕士, 工程师. 研究领域: 软件开发.