

# 基于信誉与合作的信任评价模型研究

黎梨苗 陈志刚 邓晓衡 桂劲松

(中南大学信息科学与工程学院 长沙 410083)

**摘要** 现有的一些信任评价模型采用线性加权的手段进行信任测度,可能出现一个维度指标信息很高而另一个维度指标信息较低的情况,于是存在信息的淹没,严重影响了模型计算节点信任评价的准确性和有效性。针对现有模型存在的不足,提出了一种基于二维度的相互信任矩阵评价模型。该模型依据所给出的信誉与合作评价指标的特点,分别采用二元语义信息处理和数据测度方法对节点的信誉与合作进行评价,从而得出信任评价模型。仿真实验结果分析表明,与线性加权模型相比,该模型能够更有效地抑制恶意节点的影响,提高节点任务执行的成功率。

**关键词** 信任,相互信任评价,信誉,合作

中图分类号 TP393 文献标识码 A

## Research of Trust Evaluation Model Based on Reputation and Cooperation

LI Li-miao CHEN Zhi-gang DENG Xiao-heng GUI Jing-song

(School of Information Science & Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract** Because some of the existing trust evaluation model uses the method of linear weighted sum to measure the trust, it may appear a dimension index information is very high, while the other dimension index information is relatively low, thus there is no comprehensive information for computing the trust, and it makes serious impacts on the accuracy and effectiveness of the model to compute the trust evaluation for nodes. For the shorting of the model, the paper proposed a mutual trust matrix evaluation model based on reputation and cooperation. We evaluated the reputation of the nodes by adopting two-tuple linguistic information and evaluated the cooperation of the nodes by adopting date measurement, thus we concluded the mutual trust evaluation of the nodes. At last, the paper compared the model with the mode of linear weighted by analysis of simulation experiment, it appears that the proposed model can suppress the malice node's attacking and improve the efficiency for executing a plan of the nodes.

**Keywords** Trust, Mutual trust evaluation, Reputation, Cooperation

网络是一个真实的、动态变化的、相互联系的却又难以精确预测的复杂信息环境,由于其天生具有开放性、匿名性、自治性等特点,因此不可避免地会在网络环境下存在各种各样的安全隐患。作为网络安全中的一个重要概念,信任是指网络节点之间关系的集合,这种关系的建立与节点的历史行为有关。但在网络中,因为用来评价信任的信息或证据有着非完整性、不确定性等特点,信任的建立尤为困难。而在人类社会的合作中起着非常重要作用的是信任机制,被很多学者认为是解决网络节点间有效合作的一个重要手段。目前,网络环境下的信任模型大都属于信任评估模型,如 Hu<sup>[1]</sup>, GANDISON<sup>[2]</sup>等人提出的信任评估模型, GREENBERG<sup>[3]</sup>, LAVRAC<sup>[4]</sup>, Chen<sup>[5]</sup>等提出的虚拟团队合作者之间的相互信任评价模型。Hu, GRANDISON 试图通过收集节点的全部声誉信息(即历史行为)评估节点的信任度。这种理想的模式实施起来是有一定难度的:一是需要全局节点的配合;二是计算量与

网络通信开销大,因此,其可行性和必要性有待进一步研究。LAVRAC 提出的相互信任评价模型采用线性加权的手段进行测度,即信任 =  $W_a \times \text{信誉} + W_b \times \text{合作}$ ,可能出现一个维度指标信息很高而另一个维度指标信息较低的情况,于是存在信息的淹没。另外,由于信任本身带有主观观,因此对其的评价应该在时间段上是变化的,而上述文献中都没有考虑到信任度量与时间的关系。

综上所述,本文借鉴人际关系的信任机制,构建了一个包括信誉和合作二维度的相互信任评价模型。确定二维度的评价指标,依据指标的特点给出网络节点相互信任的多指标评价方法。用给出的评价方法分别对信誉和合作两个维度进行评估,并通过矩阵分析模型来对评价结果进行判断与分析。

本文的研究目的与意义如下:

(1)在现有信任评价方法中,涉及到网络节点信息集结的方法不多,因而对具体决策问题建立决策模型,给出针对性的

到稿日期:2010-06-30 返修日期:2010-09-27 本文受国家自然科学基金项目(60873082, 60903058),湖南省自然科学基金项目(10JJ3087)资助。

黎梨苗(1979-),女,博士生,CCF 学生会员,主要研究方向为计算机网络与信息安全;陈志刚(1964-),男,博士,教授,博士生导师,CCF 理事,主要研究方向为网络与分布式计算;邓晓衡(1974-),男,博士,副教授,CCF 高级会员,主要研究方向为计算机网络服务质量、无线网络、网格计算;桂劲松(1968-),男,博士,副教授,主要研究方向为网络与信息安全、网络安全。

决策方法。

(2)对节点的声誉与合作两维度指标表现均衡的信息集结对推进其他决策问题研究具有一定的意义和价值。

## 1 问题描述与评价模型分析

依据社会关系网络情况,不难得到这样一个情况:在网络中,单个节点信誉情况非常好,而参与合作情况较差。虽然各节点的相互信任通过评价结果看来比较理想,但实际情况与之相反,非有效的合作最终会导致网络的低效率运作。此时,信任评价工作没有在网络运作和管理中起到信息反馈的作用。因此,评价网络中节点的相互信任时,需要考虑信誉与合作两维度指标的表现平衡。基于上述分析,本文给出了网络节点相互信任评价的矩阵模型<sup>[6]</sup>,如图1所示。

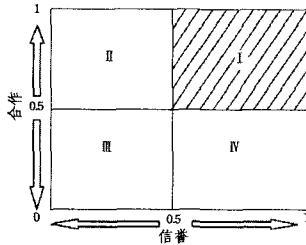


图1 二维度相互信任评价矩阵模型

图中信誉为横轴,合作为纵轴。模型中的点0.5表示“一般”,1表示“非常高”,0表示“非常低”。网络节点的相互信任评价结果可以通过矩阵模型中的一个点表示。矩阵模型的区域I为理想区域,当测评结果位于该区域时,表示网络节点相互信任水平较高;矩阵模型的区域II和区域IV为非均衡区域,表示网络节点在信誉或者合作方面表现得较弱,需要改进;矩阵模型的区域III为最差区域,表明网络节点在信誉与合作方面的表现都很差。

为了进一步对矩阵模型的两个维度进行测量,下面将通过相关文献获得两个维度的具体测评指标。

### 1) 信誉的评价指标

一般而言,信誉好的网络节点可靠性、安全性就高,依据相关文献<sup>[9-11]</sup>,得出信誉的指标如下:

节点的行为(R1):节点的行为有恶意的、自私的、诚实的,它是节点在整个网络中与其它节点进行通信的最基本的一种“道德”准则。

提供的资源(R2):节点为网络提供的资源的可用性、安全性。它能够体现节点为网络提供服务的态度是否“忠诚”。

节点的地位(R3):节点在网络中的权威性。

从指标的介绍可知,信誉评价指标为定性指标,节点适合给出语言评价信息表达自己的观点,如“非常好”、“较好”、“一般”等评价语言<sup>[7]</sup>。

### 2) 合作的评价指标

合作是指网络中节点之间相互配合的情况,一般节点具有良好的合作行为,其网络吞吐率会较高,数据传输时延会较短。依据文献<sup>[12,13]</sup>,可以得到有关合作评价的指标如下:

传递数据包的数量(F1):节点在一段时间(T)内成功传递数据包的数量。

数据包传递的时延(F2):节点接收到被传递的数据是否及时传递出去。

从合作指标描述可知,该指标适合采用客观统计数据作为其测量评价价值。

## 2 基于二维度的相互信任评价

### 2.1 信誉评价

信誉维度评价指标确定后,网络各节点就适合给出语言短语而不是数值信息表达自己的观点,如“非常好”、“好”、“一般”、“低”、“非常低”。这里考虑节点对指标给出的评价信息为短语的形式,采用近年发展起来的二元语义信息处理<sup>[8]</sup>的方法对节点给出的语言信息进行处理和集结。

**定义1** 假设评价短语集为  $S = \{s_0, s_1, s_2, \dots, s_6\}$ , 对于  $S$  集合满足如下性质: 1. 有序性, 当  $i \geq j$  时, 有  $s_i > s_j$ , 表示  $s_i$  好于或等于  $s_j$ ; 2. 存在逆运算算子“Neg”, 当  $j = 6 - i$  时, 有  $\text{Neg}(s_i) = s_j$ ; 3. 极大化运算和极小化运算, 当  $s_i > s_j$  时, 有  $\max(s_i, s_j) = s_i, \min(s_i, s_j) = s_j$ 。

**定义2** 定义网络节点集为  $L = \{I_i | i = 1, 2, 3, \dots, m, m \geq 2\}$ , 其中  $I_i$  为第  $i$  个节点。设信誉维度的指标集为  $R = \{r_k | k = 1, 2, 3, \dots, n\}$ , 其中  $r_k$  为第  $k$  个信誉维度的指标。设信誉维度的指标权向量为  $W^R = (w_1^R, w_2^R, w_3^R, \dots, w_n^R)$ , 其中  $w_k^R (k = 1, 2, 3, \dots, n)$  是组织者从预先定义好的语言评价集  $S$  中选择一个语言短语作为指标  $r_k$  重要程度的描述。

**定义3** 定义信誉维度指标  $r_k$  下的节点相互评价矩阵为  $X_k^R = [x_{kij}^R]_{m \times m}$ , 其中, 矩阵中的元素  $x_{kij}^R$  是评论节点  $I_i$  针对指标  $r_k$  从预先定义好的语言评价集  $S$  中选择一个语言短语作为对节点  $I_j$  表现的描述,  $i \neq j, i, j = 1, \dots, m, k = 1, 2, 3, \dots, n$ 。特别说明, 对角线元素为 0, 表示节点不对自己进行评价。

根据 HERRERA 和 MARTINEZ<sup>[8]</sup>提出的二元语义信息处理方法, 首先将评价矩阵  $X_k^R = [x_{kij}^R]_{m \times m}$  和指标权向量  $W^R = (w_1^R, w_2^R, w_3^R, \dots, w_n^R)$  中的语言评价信息转化为二元语义的形式, 即  $\tilde{X}_k^R = [\tilde{x}_{kij}^R]_{m \times m}$  和  $\tilde{W}^R = (\tilde{w}_1^R, \tilde{w}_2^R, \tilde{w}_3^R, \dots, \tilde{w}_n^R)$ , 其中  $\tilde{x}_{kij}^R = (x_{kij}^R, 0), \tilde{w}_k^R = (w_k^R, 0)$ , 且  $x_{kij}^R, w_k^R \in S$ 。然后根据二元语义加权平均算子, 将矩阵  $\tilde{X}_1^R, \tilde{X}_2^R, \dots, \tilde{X}_n^R$  和指标权向量  $\tilde{W}^R$  进行综合, 得到信誉维度的评价矩阵为:

$$\tilde{X}^R = [\tilde{x}_{ij}^R]_{m \times m} \quad (1)$$

式中, 矩阵  $\tilde{X}^R$  中的元素  $\tilde{x}_{ij}^R$  可通过下面的公式计算得到:

$$\tilde{x}_{ij}^R = (x_{ij}^R, a_{ij}^R) = \Delta \left( \frac{\sum_{k=1}^n \Delta^{-1}(w_k^R, 0) \times \Delta^{-1}(x_{kij}^R, 0)}{\sum_{k=1}^n \Delta^{-1}(w_k^R, 0)} \right) \quad (2)$$

$$x_{ij}^R \in S, a_{ij}^R \in [-0.5, 0.5], i, j = 1, 2, 3, \dots, m$$

从而进一步获得每个节点在信誉方面的综合表现表示为:

$$x_i^R = \frac{\frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (\Delta^{-1}(x_{ij}^R, a_{ij}^R))}{(t_i - t_c)} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

式中,  $t_i$  表示当前时间值,  $t_c$  表示最近对节点信誉评价的时间值。由于节点的信誉不是固定不变的, 因此考虑了实时信誉评价的问题。

### 2.2 合作评价

**定义4** 假设合作维度的指标集为  $C = \{c_f | f = 1, 2, \dots, n\}$ , 其中  $c_f$  表示合作维度的第  $f$  个指标, 假设指标  $c_f$  有  $q$  个等级, 以等级信息构成的指标权重信息为  $W_c^C = (w_1^C, w_2^C, \dots, w_q^C)$ 。针对任一指标  $c_f$  在等级  $g (g = 1, 2, \dots, q)$  下, 节点  $p_i$  与节点  $p_j$  的合作成果情况矩阵为  $Y_g^C = [y_{gij}^C]_{m \times m}$ , 其中, 矩阵中元素  $y_{gij}^C$  表示节点  $p_i$  配合节点  $p_j$  合作完成后相互评价的结果。考虑合作过程中, 自己不能对自己进行评价, 所以矩阵  $Y_g^C$  中对角线上的元素为 0。

以指标  $c_f$  的等级信息作为权重, 并采用算数加权平均算

子对矩阵  $Y_1^c, Y_2^c, \dots, Y_q^c$  和指标权重信息  $(w_1^c, w_2^c, \dots, w_q^c)$  进行综合,得到合作维度的规范化综合评价矩阵为  $Y^c = [y_{ij}^c]_{m \times m}$ , 其中,矩阵  $Y^c$  中的元素  $y_{ij}^c$  可通过下面的公式计算获得:

$$y_{ij}^c = \frac{1}{q} \sum_{k=1}^q w_k^c y_{kij}^c / y_{kij}^{c \max} \quad (4)$$

$$y_{kij}^{c \max} \neq 0, i, j = 1, 2, \dots, m$$

$$y_i^c = \max_{1 \leq i, j \leq m} \left\{ \frac{1}{q} \sum_{k=1}^q w_k^c y_{kij}^c \right\} \quad (5)$$

从而可进一步得到每个节点在合作方面的综合表现如下:

$$y_i^c = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m \frac{y_{ij}^c}{(t_i - t_c)} \quad i=1, 2, \dots, m \quad (6)$$

式中,  $t_i$  表示当前时间值,  $t_c$  表示最近对节点合作评价的时间值。同样的道理,对节点合作的评价应该是实时评价,因此考虑了时间因素。

### 2.3 相互信任评价

定义5 网络中节点之间的相互信任评价表示为节点的信誉评价与节点的合作评价之和,即节点的相互信任评价  $(TR) =$  节点的信誉评价  $(x_i^R) +$  节点的合作评价  $(y_i^c)$ 。

由 2.1 节与 2.2 节分别得到的节点的相互信誉评价与相互合作评价,可以得出节点之间的相互信任评价为:

$$TR = x_i^R + y_i^c = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (\Delta^{-1}(x_{ij}^R, a_{ij}^R)) + \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m y_{ij}^c \quad (7)$$

## 3 仿真实验与性能分析

通过仿真实验对本文提出的相互信任评价模型与一般的线性加权信任评价模型进行比较,来验证本文提出的模型的有效性、正确性与优越性。比较的内容包括任务执行的成功率与恶意节点对网络的攻击两个方面。

实验以 opnet 为仿真工具,构建小世界网络模型来进行仿真,小世界网络模型如图 2 所示。设想的应用场景为文件共享,用户节点的目标是下载其所需要的文件资源。用户搜索到所有拥有其所需资源的节点,从中选择可信度最高的节点与之交互,下载所需资源。假设网络中的文件资源是随机分布的,所有节点在每一轮中进行一次下载,一轮交互完成后,就进行相互评价。下载文件资源是否为用户所需资源是判断交互成功与否的标准。在小世界网络里,本文设计了正常节点与恶意节点两类节点。设节点中的恶意节点以 45% 的概率执行任务失败。式(6)中  $\alpha$  取 0.2。

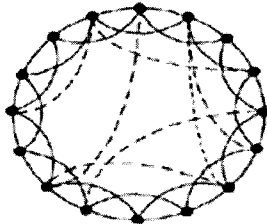


图 2 小世界网络模型

### 3.1 节点执行任务成功率的比较

在第一组仿真实验中,随机产生 10~100 个下载任务,实验在节点数为 300 的小世界网络环境下进行。对线性加权信任评价方案与基于二维度的信任评价方案执行任务成功率做了比较,结果如图 3 所示。

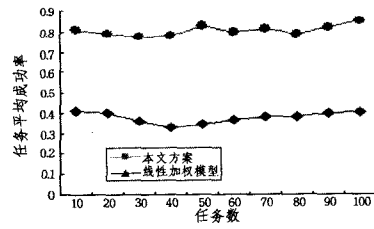


图 3 不同任务数下节点成功率比较

第二组实验中,在随机产生拥有 300~800 个节点的计算环境和随机产生 300 个任务的环境下进行仿真。同样,对两种方案的任务执行成功率进行比较,结果如图 4 所示。从图中可知,随着节点数的增加,基于二维度的相互信任更能保证任务的成功执行。

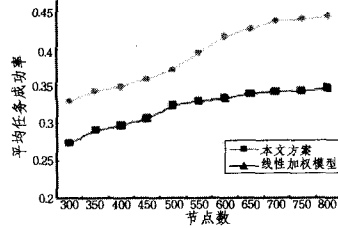


图 4 不同节点数下执行成功率比较

### 3.2 恶意节点对网络的攻击

恶意节点对网络攻击的影响是评价一个模型好坏的标准之一,因此下面从仿真实验来验证模型抑制恶意节点的能力。实验在节点数为 300 的小世界网络模型下进行,含有 10% 或 30% 的恶意节点,随机产生 10~80 个下载任务。当恶意节点数为 10% 时,得到的结果如图 5 所示。

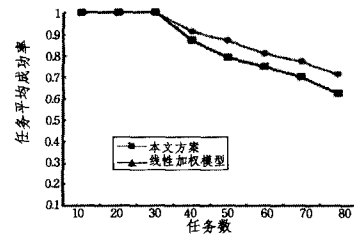


图 5 含有 10% 恶意节点的任务成功率比较

从图 5 分析可知,当网络里含有 10% 的恶意节点时,随着任务数的增加,两种方案的任务执行平均成功率呈下降趋势。但是,从图中可以看出,在同样的条件下,当任务数小于 35 时,两种方案下的任务执行结果一样,当任务数大于 35 时,就体现出了两方案优越性的差异。当任务数达到 80 时,本文方案下任务执行平均成功率大约为 76%,而线性加权方案大约为 62%。由此可知,本文方案下网络节点执行任务受到恶意节点攻击的影响小于线性加权的情况。

当恶意节点数为 30% 时,得到的结果如图 6 所示。

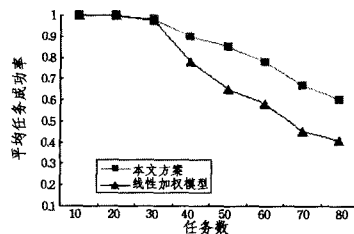


图 6 含有 30% 恶意节点的任务成功率比较

**结束语** 首先对已有模型进行了分析,指出了其存在的不足。本文针对其不足提出了基于二维度的相互信任评价模型,并对模型进行了较详细的分析,对存在的问题进行了描述。借鉴人际关系的信任机制,分别从信誉与合作两个维度对网络节点的信任评价进行计算。由于已有模型存在信息淹没现象及信誉指标具有主观性,本文采取二元语义对信息进行了处理,得出了网络节点的信誉评价模型;由于合作指标具有一定的客观性,采取数据测量得出了合作评价模型;最后由信誉评价模型与合作评价模型得出了网络节点的相互信任评价模型。通过仿真实验,与线性加权信任评价模型相比,本文所提出的基于二维的相互信任评价模型具有两方面的优越性:1)提高了网络节点任务执行的成功率;2)减小了恶意节点对节点任务执行的影响。

网络中存在一定数量的恶意节点是不可避免的现象,但是可以采取一定的策略来惩罚或诱导恶意节点改邪归正,从而使其信任值不断增大,最终既使自己获利了,也使网络总的可信度提高了,这就是我们下一步要研究的激励机制与信任演化博弈工作。

### 参 考 文 献

[1] Hu Y J. Some thoughts on agent trust and delegation [C]//Proceedings of the Fifth International Conference on Autonomous Agents, Montreal, Quebec, Canada, 2006

[2] Grandison T, Sloman M. Trust management tools for Internet applications[C]//Proceedings of the First International Conference on Trust Management, Greece, 2005

[3] Greenberg P S, Greenberg R H, Antonucci Y L. Creating and sustaining trust in virtual teams[J]. Business Horizon, 2007, 50

(4):325-333

[4] Lavrac N, Ljubic P. Trust modeling for networked organization using reputation and collaboration estimates[J]. Application and Views, 2007, 37(3):429-438

[5] Chen T Y, Chen L C, Chu H C. Developing a trust evaluation method between co-workers in virtual project team for enabling resource sharing and collaboration[J]. Computer in Industry, 2008, 59(6):565-579

[6] Herrera F, Martinez L. A model based on linguistic 2-tuples for dealing with multi-granularity hierarchical linguistic contexts in multiexpert decision-making[J]. IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics, 2001, 32(2):227-234

[7] 唐文, 胡建斌, 陈钟. 基于模糊逻辑的主观信任管理模型研究[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(10):1654-1659

[8] 樊治平, 姜艳萍. 语言判断矩阵满意一致性的判定方法[J]. 控制与决策, 2004, 19(8):903-906

[9] Bharadwaj K K, Al-Shamri M Y H. Fuzzy computational models for trust and reputation systems[J]. Electronic Commerce Research and Applications, 2008, 32(8):37-47

[10] Ma'rmol F G, Pe'rez G M. Security threats scenarios in trust and reputation models for distributed systems[J]. Computers & Security, 2009, 28(1):545-556

[11] Li Jingyuan, Liu Yongming, Tian Guoqiang. A reputation strategic model of monetary policy in continuous-time[J]. Journal of Macroeconomic, 2008, 31(12):523-533

[12] Marias G F, Georgiadis P, Flitzanis D, et al. Cooperation enforcement schemes for MANETs: A survey[J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2006, 21(6):319-332

[13] Perea N F, Puerto J, Fernández F R. Modeling cooperation on a class of distribution problems[J]. European Journal of Operational Research, 2008, 11(198):726-733

(上接第 40 页)

从仿真试验的结果看出,本文所提出的 MCB3D DV-Hop 算法在提高定位算法的精度、减少系统的计算量以及延长节点的生存周期等方面效果明显,但也需要看到多重共线性阈值不是越高越好,同样,跳数阈值也不是越小越好。在实际应用中,节点的分布是随机的,这就使得过高的多重共线性阈值或较小的跳数阈值造成不可定位节点数量增加。因此,需结合实际才能找到一个权衡各个方面因素的最佳阈值。

**结束语** 本文从无线传感器网络定位技术存在的问题入手,着重分析了三维拓扑环境对定位算法的影响,在距离无关算法中的典型 DV-Hop 算法的基础上,提出了一种改进的三维定位算法 MCB3D DV-Hop。该算法除了将 DV-Hop 定位算法从二维空间移植到三维空间以外,还在算法中考虑到信标节点拓扑关系和跳数对定位精度的影响,并且通过仿真验证了算法有较高的定位精度和稳定性。此外,本文所提出的多重共线性阈值设定方法同样可以应用到其他使用多边测量的定位算法中,作为其提高精度和稳定性的优化策略。

### 参 考 文 献

[1] 倪明选,李明禄,薛广涛. 无线传感网络的基础理论及关键技术研究[A]//中国计算机科学技术发展报告 2007—庆祝“973”计划实施十周年[C]. 北京:清华大学出版社, 2008:384-413

[2] 孙利民,李建中,陈渝,等. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社, 2005:3-25

[3] Niculescu D, Nath B. Ad-hoc positioning system(APS)[C]//Proc. of the IEEE GIOBECOM. San Antonio, 2001:2926-2931

[4] Niculescu D, Nath B. DV Based Positioning in Ad hoc Networks

[J]. Journal of Telecommunication systems, 2003, 22(1-4):267-280

[5] Tian Shuang, Zhang Xinming, Wang Xinguo, et al. A Selective Anchor Node Localization Algorithm for wireless Sensor Networks[C]//International Conference on Convergence Information Technology (ICCCIT). November 2007

[6] Poggi C, Mazzini G. Collinearity for sensor network localization [A]//Proceedings of 2003 IEEE 58th Vehicular Technology Conference [C]. Piscataway, NJ, USA; IEEE, 2004:3040-3044

[7] Davidson R, Mackinnon J G. Econometric Theory and Methods [M]. New York:Oxford University Press, 2004

[8] Gujarati D N. Basic Econometrics ( Fourth Edition ) [M]. The McGraw-Hill Companies, 2004

[9] Sun S L, Liu J F. An efficient optimization procedure for tetrahedral meshes by chaos search algorithm[J]. J Comput. Sci. Technol., 2003, 18(6):796-803

[10] 聂春戈, 刘剑飞, 孙树立. 四面体网格质量度量准则的研究[J]. 计算力学学报, 2003, 20(5):579-582

[11] Liu A, Joe B. Relationship between tetrahedron shape measures [J]. BIT, 1994, 34:268-287

[12] Lo S H. Optimization of tetrahedral meshes based on element shape measures[J]. Computer&Structures, 1997, 63(5):951-961

[13] Mitrinovic D S, Pecaric J E, Volencic V. Recent Advances in Geometric Inequalities [M]. Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1989

[14] 于宁. 无线传感器网络定位优化方法[D]. 北京:北京邮电大学

[15] Bulusu N, Heidemann J, Esirin D. GPS-Less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices [J]. IEEE personal Communications, 2000, 7(5):28-34