

7-2-2020

## Adaptive Harmony PSO Based Trusted QoS Routing Scheme

Xinxin Sun

*1. School of Computer Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China;;*

Xingwei Wang

*1. School of Computer Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China;;2. College of Software, Northeastern University, Shenyang 110819, China;;*

Huang Min

*3. College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China;*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

## Adaptive Harmony PSO Based Trusted QoS Routing Scheme

### Abstract

**Abstract:** With the continuous expansion of the network scale and the growing number of new applications, the Internet is faced with the challenges of security, dynamicity, heterogeneity and other problems. The emergence of new businesses brings higher demands on network quality of service (QoS) than before. At the same time, a huge amount of network security problems lead to people not being trusted on network. The trustworthiness of the networks and the QoS routing were investigated. *A trusted QoS routing scheme based on adaptive harmony PSO search algorithm was proposed with QoS satisfaction degree and trustworthiness value satisfaction degree considered.* The proposed scheme was implemented by simulation and the results show that it is feasible and effective.

### Keywords

QoS routing, trustworthy, harmony search algorithm, PSO

### Recommended Citation

Sun Xinxin, Wang Xingwei, Huang Min. Adaptive Harmony PSO Based Trusted QoS Routing Scheme[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(3): 741-748.

## 一种基于自适应和声粒子群搜索的可信 QoS 路由机制

孙欣欣<sup>1</sup>, 王兴伟<sup>1,2</sup>, 黄敏<sup>3</sup>

(1. 东北大学计算机科学与工程学院, 沈阳 110819; 2. 东北大学软件学院, 沈阳 110819; 3. 东北大学信息科学与工程学院, 沈阳 110819)

**摘要:** 随着网络规模的持续扩大和新业务的不断增长, 互联网正面临着安全性、动态性和异构性等多方面的挑战。新业务的不断涌现使得人们对网络的服务质量(Quality of Service, QoS)提出了更高的要求。同时, 大量的网络安全问题导致人们对现有网络的不信任。对网络可信性和 QoS 路由进行了相应研究, 提出了一种基于自适应和声粒子群搜索的可信 QoS 路由机制, 综合考虑了 QoS 满意度和信任值满意度等。仿真结果表明, 该机制是可行有效的。

**关键词:** QoS 路由; 可信; 和声搜索算法; 粒子群优化算法

中图分类号: TP393 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2016) 03-0741-08

## Adaptive Harmony PSO Based Trusted QoS Routing Scheme

Sun Xinxin<sup>1</sup>, Wang Xingwei<sup>1,2</sup>, Huang Min<sup>3</sup>

(1. School of Computer Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. College of Software, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 3. College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China)

**Abstract:** With the continuous expansion of the network scale and the growing number of new applications, the Internet is faced with the challenges of security, dynamicity, heterogeneity and other problems. The emergence of new businesses brings higher demands on network quality of service (QoS) than before. At the same time, a huge amount of network security problems lead to people not being trusted on network. The trustworthiness of the networks and the QoS routing were investigated. A trusted QoS routing scheme based on adaptive harmony PSO search algorithm was proposed with QoS satisfaction degree and trustworthiness value satisfaction degree considered. The proposed scheme was implemented by simulation and the results show that it is feasible and effective.

**Keywords:** QoS routing; trustworthy; harmony search algorithm; PSO

## 引言

随着网络技术和应用的飞速发展, 互联网已经成为当今社会的主要信息载体。Internet 的影响力已经渗透到社会的各个方面, 对社会发展和人们的日常生活产生了深远的影响。然而, 随着互联网规模持续扩大和新业务不断增长, 互联网日益呈现出复杂、异构等特点, 正面临着严峻的网络安全和服

务质量保证等重大挑战。在当前互联网环境下, 如何保障安全可信是网络进一步发展的迫切需求, 建立一个可信的网络已经成为互联网未来发展的大趋势<sup>[1]</sup>。与此同时, 当前网络业务的需求已经不仅是传统端到端的连通性, 为满足不同应用的需求, 很多路由算法和协议在进行设计的过程中考虑了用户和网络运营商的服务质量 QoS<sup>[2]</sup>。可信路由<sup>[3]</sup>是指网络在任何情况下, 都能够按照用户和网络运营商的预期为用户提供安全可靠、满足用户网络服务质量需求的路由。

目前, 国内外学者对可信网络和 QoS 路由已经进行了深入研究。文献[4]提出了一种基于熵理



收稿日期: 2014-09-16 修回日期: 2014-10-23;  
基金项目: 国家自然科学基金(61572123); 国家杰出青年科学基金(61225012, 71325002);  
作者简介: 孙欣欣(1990-), 女, 辽宁沈阳, 硕士, 研究方向为网络路由机制; 王兴伟(1968-), 男, 辽宁盖州, 博士, 教授, 博导, 研究方向为未来互联网、云计算、网络安全和信息安全等。

<http://www.china-simulation.com>

论的信任模型,采用信息熵值的大小作为衡量信任度的标准,比较了社会层面信任与计算机网络层面的信任差异,提出了推荐信任概念。文献[5]给出了一种普适环境下基于隶属云的信任模型(CBTM),用信任云来描述实体间的信任关系,给出了信任云的传播和合并算法。文献[6]基于模糊集合理论提出了信任评估模型,反映信任不确定、模糊等社会属性。文献[7]基于 Bayesian 理论推理方法解决节点的信任问题,根据待测信任节点与当前节点交互的现有观测结果,提出了用概率分布公式计算待测节点未来行为的一种模型。文献[8]采用博弈论的思想对移动自组织网络中实体进行信任评估。文献[9]给出了一种基于滑动窗口的用户行为信任评估模型,利用滑动窗口的大小来体现用户行为信任评估的时间和空间特性。文献[10]提出了一种自组织网络中基于群体智能的 QoS 路由,采用模糊数学来描述不准确的 QoS 信息。文献[11]针对网络中存在的大量不确定信息及其对 QoS 的影响,提出了基于延迟和带宽约束的 QoS 单播路由算法。文献[12]提出了一种基于 K 近似算法来求解多个加性 QoS 参数约束路由问题。文献[13]采用模糊逻辑理论来求解 QoS 路由问题,考虑了 QoS 约束和网络状态的不确定性。文献[14]采用遗传算法来求解多 QoS 参数约束的路由问题。文献[15]提出一种受自然启发的 QoS 路由算法,使用人工智能体的信息素来监测和记录网络状况,在人工体寻找最佳路径的同时优化了全网资源利用。文献[16]提出了利用粒子群优化方法来求解多参数约束的 QoS 路由问题。文献[17]采用强化学习的方法设计了一种 QoS 分布式路由算法。此外,一些研究工作中经常采用智能方法来进行目标优化,如蚁群算法<sup>[18]</sup>、免疫进化算法<sup>[19]</sup>等。本文设计了一种基于自适应和声粒子群搜索的可信 QoS 路由机制,为用户寻找满足 QoS 需求的可信路径,根据用户对路径是否有信任需求来最大化用户综合满意度或者 QoS 满意度。仿真结果表明,该机制是可行有效的。

## 1 问题描述

### 1.1 网络模型与路由请求

网络表示为有向连通图  $G(V,E)$ ,  $V$  表示节点集合,代表网络中路由节点,每个路由节点都有一个信任评估代理。 $E$  是边的集合,代表实际网络的通信链路。用户的可信 QoS 路由请求表示为  $Req(v_s, v_d, AP_i, TL)$ , 其中,  $v_s, v_d \in V$ ,  $v_s$  表示源节点,  $v_d$  表示目的节点,  $AP_i \in APT$ , 表示用户请求的应用类型,  $TL$  表示用户请求的信任等级。可信 QoS 路由为用户找到一条从  $v_s$  到  $v_d$  的路径  $P_{sd}$ , 要求  $P_{sd}$  提供的 QoS 参数满足  $AP_i$  的要求, 并且该路径的信任值  $\geq TL$  信任等级的信任值下限。

### 1.2 用户需求

本文参照 DiffServ 模型将网络应用分为不同的类型,并通过对应应用类型的请求间接提出对 QoS 参数的需求<sup>[20]</sup>。网络提供的应用类型集合为  $APT = \{AP_1, AP_2, \dots, AP_{|APT|}\}$ 。不同的应用类型对应不同的 QoS 参数需求,  $APR_i = (\Delta_{bw}^i, \Delta_{dl}^i, \Delta_{jt}^i, \Delta_{ls}^i)$  表示第  $i$  种应用类型的 QoS 参数需求,  $\Delta_{bw}^i = [bw\_r_L^i, bw\_r_H^i]$  表示带宽需求区间;  $\Delta_{dl}^i = [dl\_r_L^i, dl\_r_H^i]$  表示延迟需求区间;  $\Delta_{jt}^i = [jt\_r_L^i, jt\_r_H^i]$  表示延迟抖动需求区间;  $\Delta_{ls}^i = [ls\_r_L^i, ls\_r_H^i]$  表示出错率需求区间。本文将信任划分为 5 个等级,不同的信任等级对应着不同的信任值区间。用户信任需求等级如表 1 所示。

表 1 用户信任需求等级

信任等级	信任需求说明	信任值区间
第 1 级	高度可信	(0.8,1]
第 2 级	非常可信	(0.6,0.8]
第 3 级	一般可信	(0.3,0.6]
第 4 级	轻微可信	(0,0.3]
第 5 级	无信任需求	(0,1]

### 1.3 用户满意度

按照人的正常心理,在一个区间值上用户满意程度的变化应该呈现类似“S型”的趋势。也就是说,

当取值接近最高或接近最低时, 用户满意度变化不是很大。而当取值接近区间中部时, 用户满意度会有较明显的变化。

#### (1) 带宽满意度函数

对于用户来说获得的带宽越大, 其带宽满意度越大。若用户当前应用的带宽 QoS 需求区间为  $[bw_{-r_L^i}, bw_{-r_H^i}]$ , 实际路径提供的带宽值为  $bw_p$  时, 用户的带宽满意度函数定义如式(3)所示, 其中,  $\varepsilon$  是一个非常小的正数。在公式(3)中, 带宽小于下限时, 满意度为 0, 带宽大于上限时, 满意度等于 1, 带宽在两者之间时, 随带宽增大满意度增大, 呈现类似“S 型”的趋势。

#### (2) 延迟满意度函数

对于用户来说获得的延迟越小, 其延迟满意度越大。若用户当前应用的延迟 QoS 需求区间为  $[dl_{-r_L^i}, dl_{-r_H^i}]$ , 实际路径提供的延迟值为  $dl_p$  时, 用户的延迟满意度函数定义如式(4)所示, 其中,  $\varepsilon$  是一个非常小的正数。

#### (3) 延迟抖动满意度函数

对于用户来说获得的延迟抖动越小, 其延迟抖动满意度越大。若用户当前应用的延迟抖动 QoS 需求区间为  $[jt_{-r_L^i}, jt_{-r_H^i}]$ , 实际路径提供的延迟抖动值为  $jt_p$  时, 用户的延迟抖动满意度函数定义如式(5)所示, 其中,  $\varepsilon$  为一个很小的正数。

#### (4) 出错率满意度函数

对于用户来说获得的出错率越小, 其出错率满

意度越大。若用户当前应用的出错率 QoS 需求区间为  $[ls_{-r_L^i}, ls_{-r_H^i}]$ , 实际路径提供的出错率为  $ls_p$  时, 用户的出错率满意度函数定义如式(6)所示, 其中,  $\varepsilon$  为一个很小的正数。

#### (5) 信任值满意度函数

用户对路径有信任等级的需求, 而每一个信任等级对应着一个信任值区间。对用户来说路径的信任值越大, 其信任值满意度越大。若用户提出信任等级为  $TL$  的信任需求, 该等级信任对应的信任值区间为  $[tv_{-r_L^i}, tv_{-r_H^i}]$ , 而实际路径提供的信任值为  $tv_p$  时, 用户的信任值满意度函数定义如式(7)所示, 其中,  $\varepsilon$  为一个很小的正数。

#### (6) 满意度计算

用户对路径的满意度由用户的 QoS 满意度和信任满意度综合构成。这里定义用户 QoS 满意度  $Qsat$  与综合满意度  $Isat$  如下:

$$Qsat = w_{bw}Sat(bw) + w_{de}Sat(de) + w_{jit}Sat(jit) + w_{ls}Sat(ls) \quad (1)$$

$$Isat = \alpha Qsat + (1 - \alpha)Sat(tv_p) \quad (2)$$

其中,  $w_{bw}$ 、 $w_{de}$ 、 $w_{jit}$  和  $w_{ls}$  分别为对应项的权重,  $0 < w_{bw}, w_{de}, w_{jit}, w_{ls} < 1, w_{bw} + w_{de} + w_{jit} + w_{ls} = 1$ 。 $\alpha$  为 QoS 满意度权重, 一般有  $0.5 < \alpha < 1$ , 即 QoS 满意度权重要大, 因为如果用户 QoS 需求都无法满足, 路径的可信便失去了意义。可信 QoS 路由机制的设计目标是, 在满足用户 QoS 约束的情况下, 最大化用户综合满意度或者用户 QoS 满意度。

$$Sat(bw_p) = \begin{cases} 0 & bw_p < bw_{-r_L^i} \\ \varepsilon & bw_p = bw_{-r_L^i} \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{bw_{-r_H^i} - bw_{-r_L^i}} \left( bw - \frac{bw_{-r_H^i} + bw_{-r_L^i}}{2} \right) & bw_{-r_L^i} < bw_p \leq bw_{-r_H^i} \\ 1 & bw_p > bw_{-r_H^i} \end{cases} \quad (3)$$

$$Sat(dl_p) = \begin{cases} 0 & dl_p > dl_{-r_H^i} \\ \varepsilon & dl_p = dl_{-r_H^i} \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{dl_{-r_H^i} - dl_{-r_L^i}} \left( dl - \frac{dl_{-r_H^i} + dl_{-r_L^i}}{2} \right) & dl_{-r_L^i} \leq dl_p < dl_{-r_H^i} \\ 1 & dl_p < dl_{-r_L^i} \end{cases} \quad (4)$$

$$Sat(jt_p) = \begin{cases} 0 & jt_p > jt_{-r_H}^i \\ \varepsilon & jt_p = jt_{-r_H}^i \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{jt_{-r_H}^i - jt_{-r_L}^i} \left( jt_p - \frac{jt_{-r_H}^i + jt_{-r_L}^i}{2} \right) & jt_{-r_L}^i \leq jt_p < jt_{-r_H}^i \\ 1 & jt_p < jt_{-r_L}^i \end{cases} \quad (5)$$

$$Sat(ls_p) = \begin{cases} 0 & ls > ls_{-r_H}^i \\ \varepsilon & ls = ls_{-r_H}^i \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{ls_{-r_H}^i - ls_{-r_L}^i} \left( ls - \frac{ls_{-r_H}^i + ls_{-r_L}^i}{2} \right) & ls_{-r_L}^i \leq ls < ls_{-r_H}^i \\ 1 & ls < ls_{-r_L}^i \end{cases} \quad (6)$$

$$Sat(tv_p) = \begin{cases} 0 & tv_p < tv_{-r_L} \\ \varepsilon & tv_p = tv_{-r_L} \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{tv_{-r_H} - tv_{-r_L}} \left( tv_p - \frac{tv_{-r_H} + tv_{-r_L}}{2} \right) & tv_{-r_L} < tv_p \leq tv_{-r_H} \\ 1 & tv_p > tv_{-r_H} \end{cases} \quad (7)$$

## 2 基于自适应和声粒子群搜索的可信 QoS 路由

### 2.1 自适应和声粒子群搜索算法

和声搜索算法中,每个乐器的音符相当于优化问题的设计变量,每一个和声类比于优化问题的一个解,演奏音乐的目的是使音乐优美动听,类比于优化问题目标函数,这样演奏音乐的过程便与问题优化过程对应起来。算法首先产生 HM 个初始解(和声)放入和声记忆库中。然后对解的各个分量分别以概率 HMCR 在和声记忆库内进行搜索,以 1-HMCR 的概率在记忆库外搜索,期望获得新解的对应分量。在记忆库内进行搜索时,当随机搜索到某一分量后,则对该分量以概率 PAR 进行扰动。最后由搜索后得到的各个分量构成新解,若新解优于记忆库中的最差解,则用新解替换库中最差解。如此循环,直到满足终止条件为止。算法缺点是鲁棒性差、随机性高和无方向性。

粒子群优化算法中,由 m 个粒子组成的群体在 D 维搜索空间飞行。每个粒子都具有速度和位置。单个粒子在飞行过程中,总是参照群体当前最

优位置 gbest 和粒子本身曾经达到的最优位置 pbest 来调整下一步飞行速度和方向。经过不断迭代,直到找到优化问题的最优解或近优解。算法在搜索初期收敛速度较快,但在后期易于陷入局部最优。

自适应和声粒子群搜索算法<sup>[21]</sup>是将和声搜索算法与粒子群优化算法相融合的一种新颖的智能优化算法。该算法继承了和声搜索算法易跳出局部最优的优点和粒子群算法速度快、有方向性的优点。当求解问题十分复杂时,该算法能够大大提高对最优解的搜索效率。自适应和声粒子群算法将根据迭代次数的大小动态调整音调微调概率 PAR 值,算法具有一定的自适应性。算法在执行过程中,首先随机生成多个初始解,构建和声库。其次,将和声库中每一个和声当作一个粒子,执行粒子群优化算法的各个算子。然后,算法执行改进后的自适应和声搜索算法的各个算子。在改进的和声搜索算法下,结合粒子群算法的算子进行寻优,具有较好的寻优精度和跳出局部最优的能力。

### 2.2 解的表达与初始解的生成

每个和声与粒子的飞行位置都对应着问题的解,即满足用户 QoS 约束的可行路径。解采用向

量表示形式, 组成路径的节点编号按从源节点到目的节点的方向依次作为向量元素。初始解采用随机算法生成, 具体步骤如下:

**Step1:** 设置当前访问节点  $N_c = v_s$ , 上次访问节点  $N_p = NULL$ , 将  $v_s$  压栈, 标记网络拓扑中所有节点状态为“未访问”。

**Step2:** 如果  $N_c = NULL$ , 则失败结束; 如果  $N_c \neq v_d$ , 则转 Step3; 否则, 转 Step5。

**Step3:** 置  $N_c$  的状态为“已访问”。如果  $N_c$  所有相邻节点都处于“已访问”状态, 则弹栈顶元素赋给  $N_p$ ,  $N_c = N_p$ , 转 Step2。

**Step4:** 在  $N_c$  的邻居节点中随机选择一处于“未访问”状态的节点  $N_n$ 。将  $N_c$  压栈,  $N_c = N_n$ , 转 Step2。

**Step5:** 将  $v_d$  压栈, 若路径满足用户的 QoS 需求, 则把它作为初始解; 否则, 失败结束。

## 2.3 适应值函数解

乐队演奏出和声的优美与粒子飞行位置的好坏由解的适应值大小来衡量, 这里将用户满意度函数作为适应值函数, 根据用户是否有信任需求将个体  $x$  的适应值函数分成 2 个, 表示如下:

$$\text{fitness}(x) = \text{Isat} \quad (8)$$

$$\text{fitness}(x) = \text{Qsat} \quad (9)$$

其中, 式(8)和式(9)分别表示用户对路径有信任需求和无信任需求时的适应值函数。用户满意度越大, 适应值越大, 解越优。

## 2.4 运算规则

### (1) 构建和声库 HM

随机生成 HMS 个初始解, 并计算各个解的适应值。解向量构成的和声库矩阵定义如式(10)所示:

$$\text{HM} = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & L & x_n^1 & z(x^1) \\ x_1^2 & x_2^2 & L & x_n^2 & z(x^2) \\ M & L & L & M & M \\ x_1^{\text{HMS}} & x_2^{\text{HMS}} & L & x_n^{\text{HMS}} & z(x^{\text{HMS}}) \end{bmatrix} \quad (10)$$

其中,  $x_j^i (i \leq \text{HMS}, j \leq n)$  表示第  $i$  个和声的第  $j$  个音调, 这里将音调定义为由若干节点编号组成的一个路径片段。每个和声由  $n$  个不同的音调组成,  $n$  个路径片段拼接在一起组成了一个和声, 即一个解。 $z(x^i)$  表示第  $i$  个和声的适应值。

### (2) 粒子飞行速度定义

设粒子当前的位置是  $X(i) = (n_1^i, n_2^i, n_3^i, \dots, n_{len}^i)$ ,  $len$  是解向量的长度。飞行速度是  $V(i)$ , 经过飞行后的新位置是  $X(j) = (n_1^j, n_2^j, n_3^j, \dots, n_{len}^j)$ 。于是有:

$$X(i) + V(i) = X(j) \quad (11)$$

$$X(j) - X(i) = V(i) \quad (12)$$

将速度  $V(i)$  定义为一组变换, 如下式所示:

$$V(i) = (\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_{len}), \psi_k :$$

$$n_k^i \rightarrow n_k^j, k = 1, 2, \dots, len \quad (13)$$

其中, 变换  $\psi_k$  是将  $X(i)$  中的一个或多个分量(节点编号)变成  $X(j)$  中对应的分量。这里加法运算表示对当前粒子位置做一次变换, 减法运算是加法运算的逆运算。

### (3) 粒子飞行速度与位置的更新

设编号为  $id$  的粒子在  $i$  时刻的位置是  $X_{id}(i)$ , 速度是  $V_{id}(i)$ , 则在  $i+1$  时刻:

$$X_{id}(i+1) = X_{id}(i) + V_{id}(i+1) \quad (14)$$

$$V_{id}(i+1) = \omega \times V_{id}(i) + c_1 \times \text{rand}()_1 \times [P_{id}(i) - X_{id}(i)] + c_2 \times \text{rand}()_2 \times [P_{gd}(i) - X_{id}(i)] \quad (15)$$

其中:  $P_{id}(i)$ ,  $P_{gd}(i)$  分别为在  $i$  时刻粒子经历过的最佳位置和粒子群体经历过的最佳位置;  $\omega$  称为惯性权重;  $c_1$ ,  $c_2$  为学习因子。

式(11)~(15)是对应路径编号的操作。粒子按不同的概率分别惯性飞行、向自己经历过的最佳位置飞行和全局最佳位置飞行。惯性飞行对应着随机替换一些路径节点编号, 向局部最佳位置飞行和全局最佳位置飞行分别对应着替换局部最优解和全局最优解的路径片段, 以此来寻找最优解。

### (4) 新和声的生成



一个新的和声由 3 个算子来生成：记忆库考虑、音调微调 and 随机选择。

### 1) 记忆库考虑

记忆库考虑算子是通过在和声库中以一定的概率选取音调来模拟音乐大师凭借记忆创造音乐的过程。生成[0,1]的均匀随机数 rand，如果 rand 小于记忆库考虑概率 HMCR，则在和声库中进行音调搜索；否则，在记忆库外进行音调搜索，以期获得新和声的一个音调。

### 2) 音调微调

在记忆库中进行搜索时，当随机搜索到一个音调后，算法会以音调微调概率 PAR 对该音调进行微调。音调微调操作指的是将音调对应的路径片段进行稍微变化。自适应和声粒子群搜索算法对音调微调概率 PAR 进行了改进，定义自适应 PAR 如下：

$$PAR(gn) = PAR_{min} + (PAR_{max} - PAR_{min}) \times gn / NI \quad (16)$$

其中：gn 为当前迭代次数；PAR<sub>max</sub>，PAR<sub>min</sub> 分别为音调调节概率最大值和最小值；NI 为算法最大迭代次数。随着迭代次数的增大，PAR 变大，从而保证种群多样性。

### 3) 随机选择

当随机数 rand > HMCR 时，算法会执行随机选择操作，即随机选出一个路径片段作为新和声的一个音调。对应的操作是从当前节点按深度优先方式选出一个由若干节点编号组成的序列来模拟音乐大师即兴创造一个音调。

### (5) 更新和声库

将多个音调进行“连接”组成了一个新和声。计算该新和声的适应值，如果新和声优于和声库中最差和声，则将其替换。

## 2.5 算法流程

基于自适应和声粒子群搜索的可信 QoS 路由算法具体步骤如下：

Step 1: 初始化算法各参数，包括：和声库大小 HMS，和声库考虑概率 HMCR，最大音调微调

概率 PAR<sub>max</sub>，最小音调微调概率 PAR<sub>min</sub>，最大迭代次数 NI，迭代次数 gn=0 和 PSO 算法中的 3 个参数 ω，c<sub>1</sub>，c<sub>2</sub>。

Step 2: 随机生成 HMS 个和声(初始解)，加入到和声库。

Step 3: 将每个和声看做单个粒子，执行 PSO 算法各个算子操作。

Step 4: 根据和声库考虑、音调微调、随机选择 3 个算子生成新的和声。

Step 5: 计算新和声的适应值，如果适应值优于记忆库中最差和声，则将其替换；否则丢弃。

Step 6: 更新和声粒子群中局部最优解和全局最优解。

Step 7: 迭代次数 gn+1，如果 gn ≤ NI，转 Step 3；否则，选取全局最优解为可信 QoS 路径，算法结束。

## 3 性能评价

本文基于第二代中国教育科研计算机网 CERNET2 拓扑和美国下一代互联网 INTERNET2 拓扑进行仿真实验，选取文献[22]偏转重路由机制中的 SPT(Shortest Path Tree)算法(机制二)作为可信 QoS 路由算法(机制一)的对比算法。偏转重路由算法是一种基于最短路径树 SPT 搜索策略的重路由算法，该算法考虑了延迟约束和链路的某一参数，在一定程度上提高所选路径的 QoS 性能。为了更好的模拟网络流量，本文设置了 5 种流量等级。在等级 1 下，网络提供为原始 QoS 信息，这里用单位 1 表示，其他等级参数均为等级 1 的相对值，具体见表 2。

表 2 流量等级设定

流量等级	相对带宽	相对延迟	相对延迟抖动	相对出错率
1	1	1	1	1
2	0.8	1.05	1.05	1.01
3	0.6	1.1	1.1	1.02
4	0.4	1.15	1.15	1.03
5	0.2	1.2	1.2	1.04



## (1) 路由成功率

由图 1 和图 2 可以看出,随着网络流量等级的增大,两种机制的路由成功率都在下降。网络资源的减少,会导致路由所选路径无法满足用户 QoS 需求而导致路由失败。两种路由机制在不同拓扑下的路由成功率不同,原因在于 CERNET2 拓扑环路较少,路径多样性较差,而 INTERNET2 虽然节点较多,但其结构同样并不复杂,节点度数较低。

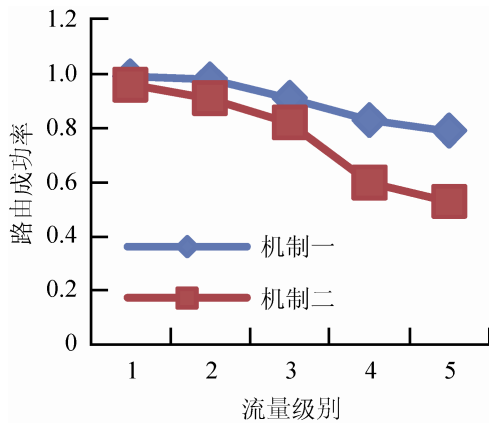


图 1 CERNET2 拓扑下路由成功率

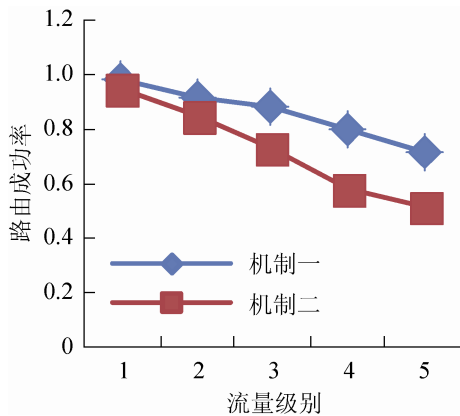


图 2 INTERNET2 拓扑下路由成功率

## (2) 用户满意度

用户满意度体现了用户对网络提供方提供服务的满意程度。由图 3 和图 4 可以看出,两种路由机制的用户满意度都随着网络流量级别的增大而下降。在网络流量较小的时候,两种路由机制都能够找到用户满意度较高的路由路径。而当网络流量增大的时候,机制二下降较为明显,这是因为偏转重路由 SPT 算法在路径选择时只考虑了延迟和延

迟抖动参数,而没有考虑其他 QoS 参数与用户对路径的可信要求。

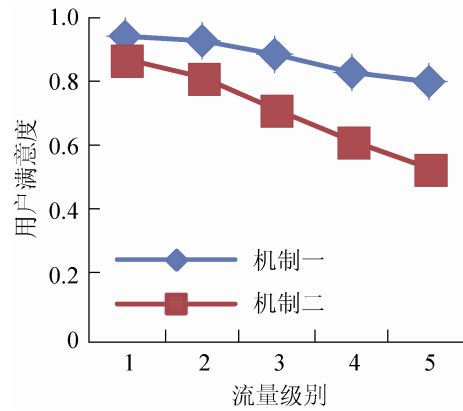


图 3 CERNET2 拓扑下路由用户满意度

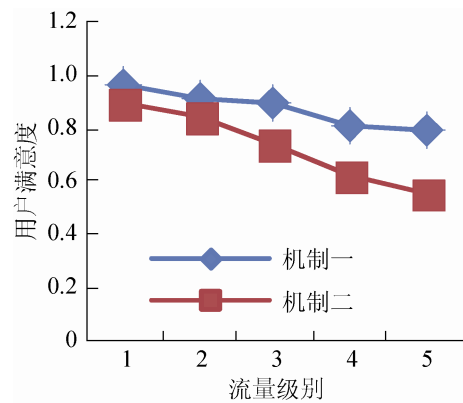


图 4 INTERNET2 拓扑下路由用户满意度

## 4 结论

本文对网络可信性和 QoS 路由进行了研究,提出了一种基于自适应和声粒子群搜索的可信 QoS 路由机制,综合考虑用户对网络的 QoS 需求和信任需求,分别给出 QoS 满意度和信任满意度的计算公式。基于自适应和声粒子群搜索的可信 QoS 路由在寻找满足用户 QoS 约束的路径的同时,根据用户是否提出信任需求,最大化用户综合满意度或者用户 QoS 满意度。仿真结果表明,该机制是可行有效的。

## 参考文献:

- [1] Ellison R J, Moore A P. Trustworthy refinement through intrusion-aware design: An overview [C]// The 3rd Annual High Confidence Software and Systems

- Conference, Baltimore, MD, USA, 2003.
- [2] 谢小民, 王兴伟, 温占考. 一种面向认知网络的 QoS 路由协议 [J]. 计算机学报, 2013, 36(9): 1807-1815.
- [3] 王洪超, 郭华明, 张宏科. 可信路由机理及关键技术 [J]. 中兴通讯技术, 2009, 15(6): 13-17.
- [4] Yan Sun, Wei Yu, Zhu Han, et al. Information Theoretic Framework of Trust Modeling and Evaluation for Ad Hoc Networks [J]. Journal on Selected Areas in Communications (S0733-8716), 2006, 24(2): 305-317.
- [5] He R, Niu J W, Zhang G W. CBTM: A trust model with uncertainty quantification and reasoning for pervasive computing [M]. Parallel and Distributed Processing and Applications (S0302-9743), 2005: 541-552.
- [6] A Tajeddine, A Kayssi, Ali Chehab. Fuzzy reputation-based trust model [J]. Applied Soft Computing (S1568-4946), 2011, 11(1): 345-355.
- [7] Mieso K Denko, Tao Sun, Isaac Woungang. Trust management in ubiquitous computing: A Bayesian approach [J]. Computer Communications (S0140-3664), 2011, 34(3): 398-406.
- [8] Marcela Mejia, Néstor Peña, Jose L Muñoz, et al. A game theoretic trust model for on-line distribute devolution of cooperation in MANETs [J]. Journal of Network and Computer Applications (S1084-8045), 2011, 34(1): 39-51.
- [9] 林闯, 田立勤, 王元卓. 可信网络中用户行为可信的研究 [J]. 计算机研究与发展, 2008, 45(12): 2033-2043.
- [10] Wang X, Cheng H, Huang M. Multi-robot navigation based QoS routing in self-organizing networks [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence (S0952-1976), 2013, 26(1): 262-272.
- [11] Hu Z, Zhou L, Gui Z. Delay-bandwidth constrained QoS unicast routing algorithms considering uncertain information [C]// Proceedings of ICC'05. Piscataway, USA: IEEE Inc, 2005: 229-232.
- [12] Xue G L, Arunabha Sen, Zhang W Y, et al. Finding a path subject to many additive QoS constraints [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking (S1063-6692), 2007, 15(1): 201-211.
- [13] Cohen A, Korach E, Last M, et al. A fuzzy-based path ordering algorithm for QoS routing in non-deterministic communication [J]. Fuzzy Sets and Systems (S0165-0114), 2005, 150(3): 401-417.
- [14] Yussof S, See O H. A robust GA-based QoS routing algorithm for solving multi-constrained path problem [J]. Journal of Computers (S1841-9836), 2010, 5(9): 1322-1334.
- [15] Lee H, Choi G, Kim H, et al. A nature-inspired QoS routing algorithm for next generation networks [C]// Autonomic and Autonomous Systems, 2008. ICAS 2008. Fourth International Conference on. USA: IEEE, 2008: 228-232.
- [16] Liu M, Xu S J, Sun S Y. An agent-assisted QoS-based routing algorithm for wireless sensor networks [J]. Journal of Network and Computer Applications (S1084-8045), 2012, 35(1): 29-36.
- [17] Mellouk A, Hoccini S, Zeadally S. Design and performance analysis of an inductive QoS routing algorithm [J]. Computer Communication (S0140-3664), 2009, 32(12): 1371-1376.
- [18] 曲大鹏, 王兴伟, 黄敏. 移动对等网络中的感知蚁群路由算法 [J]. 计算机学报, 2013, 36(7): 1456-1464.
- [19] Wang X, Sun J, Li H, et al. A Reverse Auction Based Allocation Mechanism in the Cloud Computing Environment [J]. Applied Mathematics & Information Sciences (S1935-0090), 2013, 7(1): 75-84.
- [20] ITU-T G.1010, End-user multimedia QoS categories [R]. Technical report, ITU, 2001.
- [21] 高立群, 葛延峰, 孔芝, 等. 自适应和声粒子群搜索算法 [J]. 控制与决策, 2010, 25(7): 1101-1104.
- [22] Li Xin, Qin Zhen, Yu Tao. Optimizing the QoS Performance of Fast Rerouting [C]// Hybrid Intelligent Systems, 2009. HIS'09. Ninth International Conference on. USA: IEEE, 2009, 3: 313-318.