

# 无线 mesh 网中基于蚁群算法的多约束 QoS 路由研究

刘 枫, 全惠云, 肖 伟

LIU Feng, QUAN Hui-yun, XIAO Wei

湖南师范大学 数学与计算机科学学院, 长沙 410081

College of Mathematics and Computer Science, Hunan Normal University, Changsha 410081, China

LIU Feng, QUAN Hui-yun, XIAO Wei. Study on multiple constrained QoS routing based on ant colony algorithm in wireless mesh network. *Computer Engineering and Applications*, 2008, 44(13): 122-125.

**Abstract:** No effective approximate methods about QoS route question are proposed, some heuristic algorithms generally are used, like genetic algorithm, simulated annealing algorithm, ant colony algorithm and so on. In this paper we firstly introduce QoS, its parameters and the definition that restrains the QoS route, then make a comparison between the Ad-hoc net and the wireless mesh networks, and according to present situation of Ad-hoc network research, analyse feasibility for ant colony algorithm in wireless mesh networks with QoS.

**Key words:** multi-constrained QoS; wireless mesh networks; ant colony algorithm

**摘 要:** 针对多约束 QoS 路由问题的求解, 现今并没有有效的近似算法, 一般采用启发式算法求解。先介绍了 QoS、QoS 的各种参数指标以及多约束 QoS 路由的定义, 接着通过移动 Ad-hoc 网和无线 mesh 网络的异同的比较, 根据 Ad-hoc 网络的研究现状, 分析了蚁群算法在无线 mesh 网络中 QoS 研究的可行性。

**关键词:** 多约束 QoS; 无线 mesh 网; 蚁群算法

**DOI:** 10.3778/j.issn.1002-8331.2008.13.037 **文章编号:** 1002-8331(2008)13-0122-04 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP393

QoS 是 Quality of Service 的简称。国际标准的 QoS 定义: 用户对服务性能满意程度的综合服务因素。QoS 在计算机网络系统中, 一般地讲, QoS 是指在网络系统中满足一系列特定的用户服务质量标准或服务质量保证。

移动 Ad Hoc 网络是由一组自主的无线节点或终端相互合作而形成的、独立于固定的基础设施并且采用分布式管理的网络, 是一种自创造、自组织和自管理的网络。无线 Mesh 网 (Wireless Mesh Network) 是一种多跳、具有自组织和自愈特点的宽带无线网络结构, 即一种高容量、高速率的分布式网络。它旨在探索无线移动通信与 IP 技术的结合, 研究在小型区域范围内允许多个网络同时存在、不同网络自动区分、拓扑结构动态可变、具有多跳和动态路由能力的自组织网络结构形式。

无线 Mesh 网 (WMN) 可以看成是一种特殊的 WLAN, 除移动性较低外, WMN 本质上是一种 Ad Hoc 网络, 目前主要观点认为, WMN 是一种由无线链路连接路由器和终端设备的静态无线网络, 是 Internet 的无线版本。移动 Ad Hoc 网络的应用环境以及多媒体业务流在网络中的传输需求要求移动 Ad Hoc 网络支持 QoS。然而移动 Ad Hoc 网络自身的特点使得在移动网络中实现 QoS 具有很大的难度。而多约束 QoS 问题更是重点研究的课题。近年来国内外在移动 Ad Hoc 网络的多约束 QoS 路由算法方面已经取得了一定的成果。

因此本文将着重分析比较移动 Ad Hoc 网络和无线 mesh 网络的结构特点, 分析蚁群算法应用于无线 mesh 网络的可行性及其在 QoS 路由上的优越性。

## 1 QoS 的参数指标以及多约束 QoS 路由的定义

在现有的网络中 QoS 指标一般可分为三类:

(1) 累加性指标: 如跳数、成本、链路长度、时延等, 其特点是总的 QoS 等于构成这条路径的所有链路的 QoS 值的和。

(2) 乘积性指标: 如误差率、分组丢失率和链路利用率, 其特点是总的 QoS 值等于构成这条路径的所有链路的 QoS 值的积。

(3) 瓶颈性指标: 这类指标的特点是其总的 QoS 值等于构成这条路径的所有链路的 QoS 值中最大的, 如峰值速率; 其总的 QoS 值等于构成这条路径的所有链路的 QoS 值中最小者, 如瓶颈带宽。

多约束 QoS 路由是指在网络中建立一条连接源节点与目标节点的最小代价路径, 而该路径满足多个独立路径限制条件 (即满足多个 QoS 指标)。

多约束 QoS 路由问题可以看作一个有  $N$  个节点、 $E$  条边的无向连通赋权图  $G=(N, E)$ 。对于  $G$  的每条边  $e$  (假设该边从节点  $u$  到节点  $v$ , 即:  $e=u \rightarrow v$ ), 有  $k$  个独立的权值 (或特性):  $w_1(e), w_2(e), \dots, w_k(e)$ , 分别为一个正实数。  $W(e), W(u \rightarrow v)$  或

基金项目: 湖南省自然科学基金 (the Natural Science Foundation of Hunan Province of China under Grant No.06JJ50107)。

作者简介: 刘枫 (1982-), 硕士生, 主要研究方向: 智能算法在无线网络中的应用; 全惠云 (1949-), 教授, 主要研究方向: 计算数学的教学与研究; 肖伟 (1971-), 博士, 主要研究方向: 计算数学与移动计算的研究应用。

收稿日期: 2007-08-13 修回日期: 2007-11-13

$(w_1(e), w_2(e), \dots, w_k(e))$  表示边  $e$  的权值构成的向量。给定源节点  $s$  与目标节点  $t$ , 对于  $k$  个常量  $c_1, c_2, \dots, c_k$  表示的向量  $C = (c_1, c_2, \dots, c_k)$ , 多约束 QoS 路由优化是指找寻这样的一条路径  $P$ , 同时满足以下两个条件:

(1)  $W(P) \leq C$ , 即  $w_1(e) \leq c_1, w_2(e) \leq c_2, \dots, w_k(e) \leq c_k$ 。

(2) 如果  $W(P') \leq C$ , 那么  $cost(P) \leq cost(P')$ 。  $cost(P)$  表示路径  $P$  的代价。

## 2 多约束 QoS 路由问题的研究现状

多约束的 QoS 路由问题是指路由选择中对支持的每个 QoS 参数要求都加以考虑, Wang(1996)<sup>[1]</sup>证明了这是一个 NP-Complete 问题。多约束路由由于其所选择的不同特征值的构成往往在路由算法上有很大的区别, 这也是造成不同路由算法适应不同条件和计算复杂程度上有很大差别的主要原因。因此多约束 QoS 路由问题的一个主要问题是如何在基本满足 QoS 要求的前提下简化问题, 降低算法设计的复杂度, 保证算法的可实现性。

目前主要的方法有以下几种:

### 2.1 选主约束参数

选主约束参数方法就是根据业务对不同参数要求的差异性, 从多个参数中选择一个主要的参数, 首先依据此参数进行路由选择, 当有多条路径满足业务对该参数的限制时, 再按照一定规则根据其余参数值从这些路径中选择出合适的路径。

### 2.2 结合节点控制策略使多个参数具有相关性

这是一种与整形或调度控制协同的路由选择方法。经过节点控制业务在节点或者网络中的某些特性有确定界和相关性, 利用这些确定界及相关性可以降低路由算法的复杂度, 提高算法可实现性。

### 2.3 量化参数

按照一定的精度量化参数可以减小算法复杂度和路由信息的开销, 并能够在一定程度上保证所选路由的可用概率。

### 2.4 参数定界

文[2]中通过构造函数, 将其中无界的实值参数映射为有界的整数型参数, 以解决同时对多个相互独立的参数提出要求时的 NP-Complete 问题。以代价函数为例, 假设限定业务代价函数的最大值为  $C$ , 可以取一个小整数  $T$ , 构造函数  $new-cost(u, v) = [cost(u, v) * T / C]$ , 式中  $(u, v)$  为节点  $u, v$  之间的链路, 将所有在区间  $[0, C]$  内的实数型代价函数值映射到整数区间  $[0, T]$ , 代价限制  $C$  则映射为  $T$ , 代价值在区间  $[C, \infty]$  中的路径不可选, 所以又可以映射为  $T+1$ 。通过这种映射, 可以把实值参数映射为以  $T+1$  为界的整型参数。当一个参数经过有界整数映射后, 原先的代价限制转化为对新函数的限制, 在多项式时间内可以找到满足新参数要求的路径, 寻路时间与参数  $T$  有关, 并且所选路径满足原先参数要求。

## 3 Ad Hoc 网络中的多约束 QoS 路由算法

### 3.1 Ad Hoc 网络中实施 QoS 路由面临的困难

除了计算上的复杂性外, QoS 路由与具体的网络环境密切相关, 固定高速有线网中 QoS 路由算法相对容易, 但这些算法通常不能用于 Ad Hoc 网络。Ad Hoc 网络拓扑经常变化, 不同的节点可能对网络有不同认识; 在时间上, 有些节点的信息可能过时; 在空间上, 节点通常只了解周围部分网络的状态。QoS

路由需要获悉大量的链路状态信息来计算可行路径并且维护已得到的路由资源, 但是 Ad Hoc 网络中带宽是受限的并由多个节点共享, 没有中心节点负责分配有限的资源, 从而使得 QoS 路由的发现和维持非常困难。

具体来说主要存在以下困难: 动态的网络拓扑使得信息的收集和维持非常困难; QoS 路由具有不准确特性; 难以确定路由信息的更新频率; 计算、存储和通信的开销较高, 可扩展性较差。因此大部分 QoS 路由算法都是以 Ad Hoc 网络是稳定的这一假设为前提<sup>[3]</sup>。

### 3.2 Ad Hoc 网络中主要的 QoS 路由算法

按照如何维持状态信息以及如何执行可行路径的搜索, QoS 路由算法可以分为: 集中式、分布式、泛洪搜索和分级路由算法。

集中式路由中, 节点需要维持全局的网络状态信息, 源端根据这些状态信息来集中地计算路由并通知该路径上的其它节点如何转发分组;

分布式路由中, 各个节点交换控制消息来找到一条满足 QoS 要求的路径, 节点只需知道到目的节点的下一跳节点;

泛洪搜索路由中, 源节点通过发送探测分组来获得可行路径;

分级路由算法中, 节点被划分成一些逻辑组, 每个组的路由信息汇聚在边界节点, 每个节点需要知道该组其他节点的信息以及其他组的汇聚信息, 类似于基于簇的路由算法。

针对多约束 QoS 路由问题的求解, 现今并没有有效的近似算法, 一般采用启发式算法求解, 如遗传算法、模拟退火、蚁群算法等<sup>[4,5]</sup>。

针对 Ad Hoc 网络的动态网络环境和链路、节点性能限制等不利因素, 文[6]提出了一种新的 QoS 路由发现方法——SAANNT。该方法利用蚁群算法增加了发现可用 QoS 路由的概率, 利用基于概率的路由转发策略来减少洪泛造成的网络开销, 从而强化所提算法的全局搜索能力和自适应性, 减小了洪泛对 Ad Hoc 网络性能的影响。所提方法还利用模拟退火算法调整路由发现算法的搜索方向, 以弥补蚁群算法收敛速度上的弱点, 减少了搜索过程中的停滞现象。

文[7]通过对多种约束条件的分析, 利用蚁群算法的正反馈性和协同性, 提出一种基于蚁群系统的多约束 QoS 算法, 通过对信息素强度调整方法的改进, 克服了蚁群算法易限于局部最优解的缺陷, 不仅可以搜索 QoS 请求的有效路径, 还适合多约束条件下的路由问题, 具有一般性, 很好地解决了多约束 QoS 路由优化问题。

文[8]借助模糊数学知识, 对链路参数(日时延、带宽、链路功率消耗等)和节点参数(电池能量等)进行三值化, 使其更好地反映实际的网络动态特性, 并利用这些参数构建 Ad Hoc 网络 QoS 路由的模糊优化模型, 再用一种改进的理想点算法来求解整数规划, 根据需要调整规划中的参数, 得到比较符合要求的满意解。

## 4 基于无线 Mesh 网络的多约束 QoS 路由算法分析

### 4.1 无线 Mesh 网络与移动 Ad Hoc 网络拓扑结构比较

无线 Mesh 网是移动 Ad Hoc 网络的一种特殊形态, 它继承了 Ad Hoc 网络的特点, 具有自配置、自组与自我管理特性,



所以部分传统的 Ad Hoc 网络路由协议在 WMN 中依然可用。

无线 Mesh 网中通常包含两种节点:mesh 路由节点和 mesh 客户节点。

#### (1) mesh 路由节点

mesh 路由节点能力(电源、通信和计算资源等)较强,具有路由的能力,在网络中扮演 gateway、repeater 或 bridge 等角色。

#### (2) mesh 客户节点

mesh 客户节点具有以 mesh 方式组网的基本能力,当然 mesh 客户节点也可以作为路由节点使用。和 mesh 路由节点不同的是,它不具备 gateway 和 bridge 的功能,硬件和软件平台都相对简单。mesh 客户节点可以基于各种平台,如笔记本、台式机、pocket pc、手机、PDA、BACnet(building automation and control networks)和 IP 电话等等。

mesh router 作为提供基础服务的设施,移动性最小;而 mesh client 作为网络中的端节点,可以完全固定,也可以处于不停的移动之中。因此在设计路由协议的时候,也需要考虑不同节点类型所带来的不同影响。

图 1 就是无线 Mesh 网的常用路由示意图。

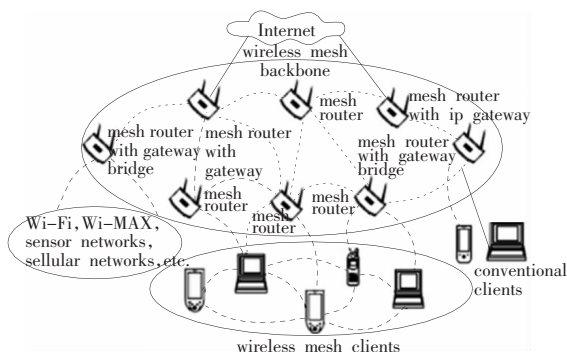


图 1 无线 Mesh 网的常用路由示意图

图 2 为移动 Ad Hoc 网络的分层路由协议(即分簇路由算法)的路由示意图。

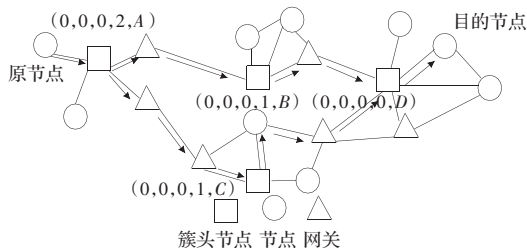


图 2 移动 Ad Hoc 网络的分层路由协议的路由示意图

通过两种结构的对比,可以看出无线 Mesh 网和分层处理的 Ad Hoc 网络的拓扑结构是十分的类似的,无线 Mesh 网中的路由节点与 Ad Hoc 网络分簇路由协议中承担了簇头节点功能的节点功能也是类似的。因此移动 Ad Hoc 网络的基于分簇策略的多约束 QoS 算法在根据两种网络节点之间的区别,进行一定程度的改进后一般适用于无线 Mesh 网络。

## 4.2 基于蚁群算法的多约束 QoS 路由算法

将蚁群算法思想应用于网络 QoS 路由时,把源节点和目的节点分别当作“蚁巢”和“食物”,数据包视为蚂蚁,在经过的路径上留下的信息素用路由表代替,表中的信息素浓度以概率值的形式表示,要求路由节点维持一个路由表(Ad Hoc 网络要求每个节点都要维持一个路由表)。这有助于更好地理解蚁群寻路的原理,与蚂蚁根据信息素多少选择路径具有本质上的—

致性。蚂蚁以一定的周期更新信息素表。通过信息素表也即节点转移概率表来选择下一步所要走的路径,经过多次迭代后,找到满足 QoS 约束条件信息素最高的路由就是所求解。

### 4.2.1 Ad Hoc 网络中蚁群算法的基本步骤

(1)初始化参数。

(2)精简网络。

(3)初始化网络拓扑中各链路的相应信息素,将  $m$  只蚂蚁放在源节点。

(4)在第一单位时间内,每只蚂蚁搜索禁忌表许可,然后各蚂蚁通过重复应用状态转移规则来选择各自的路径。在选路过程中,如果蚂蚁在到达目的节点前死亡,另外一只和死亡蚂蚁同类的蚂蚁重新放出来代替死亡的蚂蚁,重新开始选择从源节点到目的节点的路径。当某只蚂蚁成功地完成路由选择后,该蚂蚁所经过路径的各链路信息素根据局部信息素更新规则进行更新。

(5)对所有蚂蚁重复第(4)步,直到  $m$  只蚂蚁从源节点到达目的节点。

(6)比较选择使用了最小代价并满足 QoS 限制的路由的蚂蚁,然后使用全局更新规则对该蚂蚁所经过的各链路信息素进行更新。

(7)重复第(4)~(6)步,直到满足结束条件。

当前所提出的基于蚁群算法的 Ad Hoc 网络路由协议大多需要通过其他的机制来解决上述问题,如 GPS/AL 和 Ant-AODV 都采用类似于蚂蚁的移动代理对网络进行大范围的扫描,将移动代理所经过的网络节点中对路由有用的信息进行收集和发布。其中,GPS/AL<sup>[9]</sup>是一个依赖于位置信息的源路由协议,需要固定网络基础设施的支持,而 Ant-AODV<sup>[10]</sup>是一种混合路由算法,结合了蚁群算法和基本的 AODV 机制,以改善路由发现的时延性能和协议对网络拓扑变化的适应能力。

### 4.2.2 无线 mesh 网络中蚁群算法的基本步骤

(1)从  $N$  个网络节点中选出  $M$  个子系统的中心节点,并根据这  $M$  个中心节点访问其他节点的花费来把剩余的节点归入到  $M$  个子系统中形成  $M+1$  个网系统。各子节点和中心节点间以及  $M$  个中心节点相互之间是连通的。

(2)初始化参数。

(3)初始化网络拓扑中各链路的相应信息素,各节点与各自所在子系统的中心节点链路间的信息素大于其他链路的初始值,投放  $m$  只蚂蚁到源节点。

(4)每只蚂蚁从源节点出发,判断源节点所在子系统,跳转到源节点所在子系统的中心节点;接着搜索禁忌表许可,各蚂蚁通过应用状态转移规则来选择下一跳节点;找到下一跳节点后,判断下一跳节点所在的子系统,并找出该子系统的中心节点,比较从当前节点经下一跳节点到其中心节点的花费以及当前中心节点直接到下一跳节点的中心节点的花费,花费较小的路径为蚂蚁从当前子系统到下一子系统的选择路径。在选路过程中,如果蚂蚁在到达目的节点前死亡,另外一只和死亡蚂蚁同类的蚂蚁重新放出来代替死亡的蚂蚁,重新开始选择从源节点到目的节点的路径。当某只蚂蚁成功地完成路由选择后,该蚂蚁所经过路径的各链路信息素根据局部信息素更新规则进行更新。

(5)对所有蚂蚁重复第(4)步,直到  $m$  只蚂蚁从源节点到达目的节点。

(6)比较选择使用了最小代价并满足 QoS 限制的路由的蚂

蚁,然后使用全局更新规则对该蚂蚁所经过的各链路信息进行更新。

(7)重复第(4)~(6)步,直到满足结束条件。

## 5 仿真与结果分析

### 5.1 仿真条件

硬件平台:CPU: Intel® Core™2.13 G, 786 MHz

内存:1 GM

操作系统:Windows XP

仿真软件:Microsoft Visual C++ 6.0

### 5.2 构建网络模型

100×100 单元格内,起点为(0,0),终点为(100,100)。在单元格内随机生成 30 个点,代表 30 个路由节点。其模型是一个对称的有向图。其中:

$V=\{0,1,2,3,\dots,31\}$ 为网络节点集合。

$E=\{e(0,1),e(0,2),e(0,3),\dots,e(0,31),\dots,e(31,30)\}$ 为网络的链路集合。

$e(i,j)=\{b(i,j),d(i,j),c(i,j)\}$ 为带有时延、丢包率、访问花费代价参数的链路。

### 5.3 实验设计与参数定义

Ad-hoc 网络结构表示蚂蚁在起点和终点间用全局方法求解最佳路径。

无线 Mesh 网络结构表示从  $N$  个网络节点中选出 5 个子系统的中心节点,并根据这 5 个中心节点访问其他节点的花费来把剩余节点归入 5 个子系统形成的网络系统。然后通过 5 个中心节点来寻找从起点到终点的最佳路径。

$\alpha$  表示残留信息的相对重要程度; $\beta$  表示可见度的相对重要程度; $\rho$  表示信息素的保留率。

### 5.4 实验结果

实验 1 设定  $N=30$ ,改变蚁群算法的其他参数,每组参数抽取运行结果 100 组取平均值进行比较。MAX 为 100 组结果中的最大值,MIN 为最小值,AVG 为平均值。

表 1 实验 1 的结果

参数设置	网络结构	代价度量			时延			丢包率		
		MAX	MIN	AVG	MAX	MIN	AVG	MAX	MIN	AVG
$\alpha=1$	$\rho=1$ Ad-hoc	414.71	209.52	304.87	21	11	16	0.413	0.179	0.319
	$\beta=1$ 无线 mesh	198.88	105.42	166.28	9	4	7	0.197	0.089	0.152
$\alpha=1$	$\rho=0.9$ Ad-hoc	424.97	184.68	297.45	20	10	15	0.407	0.177	0.302
	$\beta=0.9$ 无线 mesh	201.34	98.73	159.75	11	4	7	0.205	0.079	0.163
$\alpha=0.9$	$\rho=1$ Ad-hoc	411.52	184.95	293.60	21	9	15	0.399	0.168	0.293
	$\beta=0.9$ 无线 mesh	195.83	105.38	154.27	10	5	7	0.198	0.096	0.148
$\alpha=0.9$	$\rho=0.9$ Ad-hoc	409.26	197.37	303.62	20	10	16	0.385	0.189	0.287
	$\beta=1$ 无线 mesh	183.45	106.79	162.58	9	5	6	0.188	0.107	0.149
$\alpha=0.8$	$\rho=1$ Ad-hoc	406.69	187.93	288.59	20	11	16	0.382	0.184	0.283
	$\beta=1$ 无线 mesh	189.42	103.27	159.47	11	5	6	0.176	0.102	0.145

实验 2 改变  $N$  的大小,其他参数设定为  $\alpha=1,\beta=1,\rho=1$ 。其他设定同实验 1。

### 5.5 结果分析

通过多组结果的分析比较可以发现,蚁群算法可成功适用于无线 mesh 网络的 QoS 问题。

同时可以看出在无线 mesh 网络中,因为中心节点这一特殊节点的设置,在寻路时的寻找时间和算法的复杂度都得到了

表 2 实验 2 的结果

节点数量	网络结构	代价度量			时延			丢包率		
		MAX	MIN	AVG	MAX	MIN	AVG	MAX	MIN	AVG
40	Ad-hoc	490.76	249.92	367.53	26	17	21	0.503	0.216	0.355
	无线 mesh	241.48	146.59	193.17	14	7	10	0.207	0.159	0.172
45	Ad-hoc	537.40	313.25	422.61	29	20	24	0.572	0.269	0.403
	无线 mesh	260.79	169.82	211.39	17	8	13	0.275	0.214	0.247
50	Ad-hoc	596.41	358.09	479.52	33	24	28	0.614	0.307	0.452
	无线 mesh	278.98	205.84	238.46	19	10	16	0.302	0.259	0.278

大大的改善,减少了参与运算的网络节点,使得最终路径的代价度量、时延、丢包率都要小于 Ad-hoc 网络。表明无线 mesh 网络将使得从源节点到目标节点所需要花费更小,信息准确度更高。

## 6 总结

无线 mesh 网作为移动 Ad Hoc 网络的一种特殊形式。本文先从移动 Ad Hoc 网络的多约束 QoS 路由算法出发,解释了多约束 QoS 的定义,分析了多约束 QoS 问题在移动 Ad Hoc 网络中的难点以及常用的处理方法和路由算法,对于无线 mesh 网络与 Ad Hoc 网之间的区别与联系,用基于蚁群算法的多约束 QoS 路由算法,分析在同等条件下两种网络结果所花费的代价,比较两种网络的特点,证明了蚁群算法在无线 mesh 网络的 QoS 路由问题上的可行性及优越度。作为后续工作将进一步分析蚁群算法与无线 mesh 网络的特点,期望能通过改进蚁群算法从而使得在无线 mesh 网络的多约束 QoS 问题上得到更好的解决方法。

## 参考文献:

- [1] Wang Zheng, Crowcroft J. Quality-of-service routing for supporting multimedia applications[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1996, 14(7): 1228-1234.
- [2] Chen Shi-gang, Nahrstedt K. On finding multi-constrained paths[C]// ICC'98. Georgia, Atlanta, USA: ICC, 1998.
- [3] Satyabrata C, Amitabh M. QoS issues in Ad hoc wireless networks[J]. IEEE Communication Magazine, 2001, 39(2): 142-148.
- [4] 崔勇, 吴建平, 徐恪. 基于模拟退火的服务质量路由算法[J]. 软件学报, 2003, 14(5): 877-884.
- [5] 杨云, 徐永红, 李千目, 等. 一种 QoS 路由多目标遗传算法[J]. 软件学报, 2004, 25(1): 43-51.
- [6] 傅鹏, 张德运. Ad Hoc 网络中基于模拟退火-蚁群算法的 QoS 路由发现方法[J]. 西安交通大学学报, 2006, 40(2): 179-182.
- [7] 冉敏, 高随祥, 徐葆. 一种基于蚁群系统的多约束 QoS 路由算法[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(7): 142-144.
- [8] 安时建, 王泽焱, 孙文桥, 等. 一种基于模糊优化的 Ad hoc 网络 QoS 路由算法[J]. 解放军理工大学学报, 2005, 6(6): 232-236.
- [9] Camara D, Alfredo A, Loureiro F.A. GPS/Ant-Link routing algorithm for Ad Hoc networks[C]// IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC'00), Chicago, IL, September 23-28, 2000, 3: 1232-1236.
- [10] Marwaha S, Tham C K, Srinivasan D. Mobile agents based routing protocol for mobile Ad hoc networks[C]// IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM'02), Taipei, Taiwan, November 17-21, 2002, 1: 163-167.