

# DPA: 一种动态环境下 QoS 单播路由算法

易 猛<sup>1</sup> 陈庆奎<sup>2,3</sup> 章 刚<sup>1</sup> 赵海燕<sup>3</sup>

(上海理工大学管理学院 上海 200093)<sup>1</sup> (上海现代光学系统重点实验室 上海 200093)<sup>2</sup>

(上海理工大学光电信息与计算机工程学院 上海 200093)<sup>3</sup>

**摘 要** 目前 Internet 网络环境下,网络参数的随时变化容易造成路由过期,从而使提供的 QoS 路由无效,为此提出了一种适合参数动态变化的单播 QoS 路由算法(DPA),该算法在路径代价随时间不断变化的情况下能够自主地选择最优路由节点,解决多约束 QoS 单播路由选择不精确的问题。实验表明,本路由算法自适应性和扩展性较好,同时在路由选择方面比传统的路由算法能够提供更好的 QoS 路由。

**关键词** 动态参数, QoS, 单播路由, 适应性

**中图分类号** TP309.04 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.1.030

## DPA: A QoS Unicast Routing Algorithm in Dynamic Environment

YI Meng<sup>1</sup> CHEN Qing-kui<sup>2,3</sup> ZHANG Gang<sup>1</sup> ZHAO Hai-yan<sup>3</sup>

(Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)<sup>1</sup>

(Shanghai Key Laboratory of Modern Optical System, Shanghai 200093, China)<sup>2</sup>

(School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)<sup>3</sup>

**Abstract** In the current Internet routing under network environment, network parameter changes all the time, which easily causes the problem of routing expired, makes the provided QoS routing invalid. In order to solve these issues, this paper proposed a QoS unicast routing algorithm (DPA) suit for the dynamic change of network parameters. In the case of the path to changing costs over time, it can select the optimal routing node autocratically to solve the routing inaccuracies problem in multi-constrained QoS unicast routing. Experimental results show that the routing algorithm is better in adaptability and scalability, in the meantime, compared to traditional routing algorithms, DPA can provide better QoS routing in the route selection.

**Keywords** Dynamic parameters, QoS, Unicast routing, Adaptability

## 1 引言

服务质量 (Quality of Service, QoS) 路由<sup>[1-3]</sup>是面向连接的、有资源预留功能并且能够提供有质量保证的服务。当前研究主要集中在静态 QoS 单播路由寻找最短路径问题<sup>[4,5]</sup>上,在文献[6]中,引入 Pareto 最优,设计了两可加 QoS 约束动态权重系数单播路由算法。在文献[7]中,提出了一种基于概率的不精确链路信息下 QoS 单播路由算法,以寻找延迟与带宽受限费用最小的 QoS 路由。在文献[8]中,把不精确信息下带宽与延迟约束路径问题分解成带宽约束路径和延迟约束路径两个子问题,首先获得非劣解集,而后基于效用函数从中选取特定路径作为问题解。在文献[9]中,针对不精确信息下多加性 QoS 约束路径问题,采用模糊逻辑从一组候选路径

中选择符合要求的 QoS 路由。这些路由算法往往是基于已经产生的历史路由由参数考虑的,它们根据模糊数学和概率统计的理论进行路径选择,而这些参数是不精确的,当链路状态信息不断变化时,就需要引入动态路由更新算法。动态更新最短路径树算法较静态算法更快地收敛、占用更少的路由计算资源。Ball-and-String<sup>[10]</sup>模型是目前广泛应用的动态更新最短路径树算法,但是此算法在对边的处理上存在明显的冗余,且没有实现对增加节点和删除节点的处理。文献[11]以随机 Dijkstra 算法来产生初始种群,进而提出了运用遗传算法来求解动态网络最短路径问题,该方法虽然有较好的收敛性,但并不一定能够找到最优解。Chabini<sup>[12]</sup>首次提出用 A\* 算法解决动态最短路径问题,并证明了这种方法的可行性。文献[13]在满足 FIFO 原则和动态形式下的一致性原则的动

到稿日期:2014-02-13 返修日期:2014-04-13 本文受国家自然科学基金项目:流处理器大规模网络环境下协同并行处理模型研究(60970012),上海信息技术领域重点科技攻关计划基金项目;广义网络环境下的协同信息处理和并行控制技术研究(09220502800),上海教委创新基金重点项目:物联网大规模并发监控机制研究(13ZZ112),教育部博士学科点专项科研博导基金物联网大规模并发监控实时机制研究(20113120110008),上海市一流学科项目(XTKX2012)资助。

易 猛(1988-),男,硕士生,主要研究方向为物联网技术,E-mail:yimeng56@126.com;陈庆奎(1966-),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为网络计算、并行理论与并行数据库、物联网技术;章 刚(1982-),男,博士生,主要研究方向为网络计算;赵海燕(1975-),女,博士,副教授,主要研究方向为服务计算、协同计算、数据挖掘。

态网络中,提出一种将两节点间最短距离的动态下界应用动态网络的改进A\*算法。文献[14]用依赖时间变化的A\*算法求解动态最短路径问题,提出一种变量时间离散化的策略,这种策略根据网络图中边波动频率设定不同的时间间隔长度,能够优化求解过程中内存空间分配,但这种时间离散化的思想限于局部求解,未能考虑全局路径优化。鉴于以上算法的问题,本文基于A\*搜索算法,提出一种算法来解决网络参数随时间变化的动态最优路径问题,并应用于动态网络中的DPA算法,进而将此算法引入到延迟和路由跳数多约束QoS单播路由问题中,实验表明该算法能够有效地提高QoS单播路由的服务质量。

## 2 问题描述

在QoS路由算法中,常见的QoS度量<sup>[15]</sup>参数可分为加性度量参数(如代价、跳数、延迟)、乘性度量参数(如丢失率)和凹性度量参数(如带宽)。考虑两个及两个以上度量参数即属于NP问题,本文研究的问题是两个加性约束的NP问题,下面给出问题的具体描述。

给定网络 $G=(V,E)$ , $V$ 表示点集合, $E=\{e_1,e_2,\dots,e_n\}$ 表示链路集合。对 $\forall i,e_i$ 上存在两个加性约束参数(延迟以及路由跳数),现给定源点 $s,s\in V$ ,在使两个约束达到最优的条件下,寻找一条到达目的顶点 $g,g\in V$ 的代价最优路径,用数学模型表示如下(最小就是最优):

$$\begin{aligned} \text{Min}F &= \{\text{Min}F_1, \text{Min}F_2\} \\ \text{s. t. } F_j &\leq C_j, j=1,2 \end{aligned} \quad (1)$$

其中, $F$ 表示总体代价函数, $F_j$ 表示第 $j$ 个参数目标函数, $C_j$ 表示第 $j$ 个参数约束函数。

由式(1)给出的数学模型可知,这是一个多目标优化问题,由文献[16]可知,利用极大熵函数,可以将多目标优化问题转换为一个单目标优化问题,则原问题便转成了单目标优化问题,即求 $\text{Min}F$ 。

## 3 算法描述

### 3.1 DPA 算法

由于以往的A\*算法都是应用于静态网络中,其描述和所需满足的条件都是静态形式的而没有利用动态网络的性质,如果将其照搬到动态网络中将会大大降低其优势,考虑到动态网络性质,本文针对网络节点个数、边的权值都随着时间在变化的动态网络环境下求解最短路径问题,对A\*算法进行了改进,进而提出了DPA算法。

设 $t$ 时刻的网络拓扑图为 $G(V(t),E(t),D(t))$ ,其中 $V(t)$ 表示 $t$ 时刻有 $n$ 个网络节点, $E(t)$ 表示 $t$ 时刻有 $m$ 条边,则 $t$ 时刻从源节点 $s$ 经过节点 $i$ 到达目标节点 $g$ 的最短时间为 $F_i(t)$ 。

$$F_i(t) = L_i(t) + W_{ig}(t) \quad (2)$$

其中, $s,i,g\in V$ , $L_i(t)$ 表示在 $t$ 时刻由起点 $s$ 到点 $i$ 的最短时间; $W_{ig}(t)$ 表示在 $t$ 时刻由点 $i$ 到点 $g$ 的最短时间。文献[12]已经证明A\*算法的搜索效率与两节点距离的动态下界有关,但是,文献[13]并没有描述搜索效率与两节点距离的动态下界的关联。因此,本文基于文献[12]的思想,引入了两个松弛因子来表示动态下界对估价函数的影响程度,给出了 $t$ 时刻 $F_i(t)$ 的一个估价函数 $\hat{F}_i(t)$ 。

$$\hat{F}_i(t) = (1-\tau)\hat{L}_i(t) + (1+\zeta)\hat{W}_{ig}(t + \hat{L}_i(t)) \quad (3)$$

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^k \left( \frac{L_i(t) - \overline{L}_i(t)}{L_i(t)} \right)^2}{k} \quad (4)$$

$$\zeta = \frac{\sum_{i=1}^k \left( \frac{W_{ig}(t) - \overline{W}_{ig}(t)}{W_{ig}(t)} \right)^2}{k} \quad (5)$$

其中, $\hat{L}_i(t)$ 表示在 $t$ 时刻由起点 $s$ 到点 $i$ 的最短时间的一个上界; $\hat{W}_{ij}(t)$ 表示在时刻 $t$ 由点 $i$ 到点 $j$ 的最短时间的一个下界; $\overline{L}_i(t)$ 表示 $t$ 时间段内由起点 $s$ 到点 $i$ 的平均时间; $\overline{W}_{ig}(t)$ 表示 $t$ 时间段内由点 $i$ 到点 $g$ 的平均最短时间; $k$ 表示已经选择的节点集合中的节点个数; $\tau,\zeta$ 为两个松弛因子,且 $0\leq\tau,\zeta\leq 1$ 。在式(3)中, $\tau$ 越小,表示从源点 $s$ 出发开始, $t$ 时间段内,节点 $s$ 到节点 $i$ 的最短时间越稳定,进而 $\hat{L}_i(t)$ 对估计函数 $\hat{F}_i(t)$ 的影响程度越高; $\zeta$ 越大,表示在 $t$ 时间段内从节点 $i$ 到节点 $j$ 的最短时间波动越大,进而 $\hat{W}_{ij}(t)$ 对估计函数 $\hat{F}_i(t)$ 的影响程度越高。

### 3.2 DPA 算法描述

设 $B(i)=\{V_j|V_j\in V\}$ 表示从节点 $i$ 不需要经过其他节点能够直接到达的节点集合; $C$ 表示DPA算法所能够选择的节点集合; $O$ 表示DPA算法所选择的节点集合。则DPA算法的步骤可总结如下:

Step 1 初始化 $open$ 表、 $closed$ 表为空,定义 $s$ 为初始状态节点,即 $i=s,C=\emptyset,O=\emptyset$ ;

Step 2 计算 $\hat{F}_i(t)$ 中, $\hat{F}_i(t)=\hat{W}_{ig}(t)$ ,将 $s$ 加入到 $open$ 表中,即 $C=\{i\}$ ;

Step 3 如果 $open$ 表为空,则搜索失败退出;

Step 4 从 $open$ 表中取出满足 $\min_{i\in C}\hat{F}_i(t)$ 的任一个节点 $i$ ,将 $i$ 插入到 $closed$ 表中,并把 $i$ 从 $open$ 表中删除掉,即 $O=O\cup\{i\},C=C\setminus\{i\}$ ;

Step 5 如果 $i$ 是目标节点,搜索成功,返回问题的解;

Step 6 对每一个可用的算子 $Op(B(i))$ ,扩展 $i$ 生成子节点 $j$ ,计算 $\hat{L}_j(t),d_{ij}(t+\hat{L}_i(t))$ 。如果 $\hat{L}_i(t)+d_{ij}(t+\hat{L}_i(t))<\hat{L}_j(t)$ ,令 $\hat{L}_j(t)=\hat{L}_i(t)+d_{ij}(t+\hat{L}_i(t)),\hat{F}_j(t)=(1-\tau)\hat{L}_j(t)+(1+\zeta)\hat{W}_{jg}(t+h_{ij}(t))$ ,其中 $h_{ij}(t)=\hat{L}_i(t)+d_{ij}(t+\hat{L}_i(t))$ ,如果 $j$ 已经存在于 $open$ 表中或者在 $closed$ 表中,那么继续执行Step 6。否则将节点 $j$ 插入到 $open$ 表,即 $C=C\cup\{j\}$ ;

Step 7 转至Step 4。

### 3.3 算法复杂度分析

由于DPA算法的计算量与路由节点的个数、网络拓扑图的边的个数、网络带宽等不确定因素有关,因此我们只讨论最差情况下的复杂性。

通过分析DPA算法的流程及算法原理可以找出DPA算法的基本操作,其基本操作为判断新生成的子节点是否位于 $open$ 表中,该部分操作通常位于三层循环内,第一层循环的次数为 $closed$ 表中路由节点的个数,第二层循环的次数为当前路由节点扩展的子节点的个数,第三层循环的次数为当前

open 表中路由节点的个数。

扩展当前节点最多产生的子节点数目为  $S$ , 规划完成后  $closed$  表中路由节点的个数为  $N$ 。在最差的情况下, 每次扩展当前点都产生  $S$  个子节点, 每一个新生成的子节点都不在  $open$  表中, 即每一次循环  $open$  表中的路由节点都增加  $S$  个, 那么最终  $open$  表中的路由节点的个数为  $N \times S \times S$ , 总的基基本操作次数见式(6):

$$C_{worst} = S + 2S + 3S + 4S + \dots + N \times S \times S$$

$$= \frac{NS^2 + N^2 S^3}{2} \quad (6)$$

$$C_{worst} \in O(N^2), C_{worst} \in O(S^3)$$

其中,  $N$  为  $closed$  表的长度, 其与网络带宽、网络延时、网络拓扑图的规模大小等因素有关。  $S$  为当前路由节点生成子路由节点的数量, 也就是当前节点的邻域, 往往邻域越大, 拓扑图边的集合  $E(t)$  越大, 生成的子路由由节点越多, 计算的最佳路由路径也越精确, 但根据上述 DPA 算法复杂度分析, 生成子路由由节点的个数对算法计算量的影响也很大。现实中, 网络拓扑图通常是一个稀疏矩阵,  $S$  小于某个常数, 故 DPA 算法时间复杂度为  $O(n^2)$ 。

算法空间方面, 主要是维护  $open$  表和  $closed$  表的数据结构, 最坏情况下是存储全部的路由节点信息, 这空间复杂度最大, 为  $\Omega(n)$ 。

## 4 实验与分析

### 4.1 实验环境

实验环境分为仿真环境与实际运行环境。仿真环境是由仿真工具模拟的大规模协同网络场景, 用以验证 DPA 算法与当前一些重要算法间的差异。通过扩展网络的拓扑结构, 按照模拟的物理拓扑, 我们分别创建了 100、200、300、400、500 个节点, 其链路上带宽为 2Mbps, 链路上的延时为 10~100ms, 在网络拓扑结构的每个节点上分别配置 DPA 算法以及一些改进算法, 同时设置参数。

仿真环境主要测试各个算法的扩展性能, 实际环境中主要测试在服务路由节点不断变化的网络拓扑结构下各个算法的请求成功率, 同时设置参数。

### 4.2 实验结果

服务路由成功是指在整个会话期间, 所有服务实例和链路的资源需求总是满足要求的。服务路由成功率被定义为组合成功请求数与总的用户请求数的比率。在一个资源总数固定的覆盖网络中, 服务路由成功率越高, 表明路由服务质量的效果越好。

本实验主要测试各个算法的路由请求成功率, 分别测试 100、500 个节点下各算法服务路由成功率。我们通过请求次数的变化过程来观察服务路由成功率 Router\_QoS, 图 1 至图 3 的纵坐标均为服务路由成功率 Router\_QoS, 图 1 和图 2 的横坐标为服务路由请求次数, 图 3 的横坐标为节点个数。

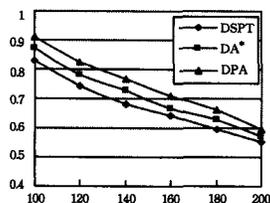


图 1 100 个节点下服务路由成功率

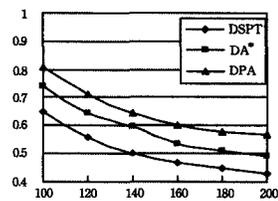


图 2 500 个节点下服务路由成功率

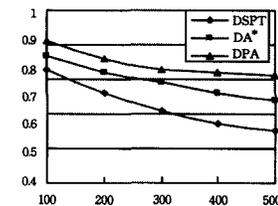


图 3 DPA 算法请求 100 次服务路由成功率

图 1 描述了在 100 个节点网络拓扑下, 文献[17]的 DSPT 算法、文献[13]的  $DA^*$  算法和本文的 DPA 算法的服务路由成功率变化过程。初始时, 网络并不拥塞, 随着网络中服务请求次数的增大, 3 种算法服务路由成功率下降较快, DPA 算法相对其它两种算法, 其服务路由成功率较高。从图 2 可以看到在 500 个节点的拓扑结构中 3 种算法服务路由成功率的变化过程, 图 3 描述了 DPA 算法在 100、200、300、400、500 个节点的拓扑结构下分别请求 100 次路由由服务的服务路由成功率变化情况。综合分析图 1—图 3 可以看出, 由于数据量较大, 链路比较拥塞, 因此服务路由成功率一开始就急剧下降, 随着网络节点和路由请求次数的不断增加, 3 种算法的服务路由成功率表现出不同程度的下降趋势, 但在变化过程中, 可以看出 DPA 算法和  $DA^*$  算法服务路由成功率比 DSPT 算法的高。从实验可以看出, 随着网络拓扑结构的扩展, DPA 算法的服务路由成功率和扩展性相对其他两种算法较好。

**结束语** 本文对 QoS 路由和现阶段常用的路由算法进行了概括和分析, 并针对动态环境下多约束服务质量的单播路由问题, 用多目标优化的思想建立了数学模型, 进而提出一种解决动态最短路径路由的 DPA 算法。实验表明, 相对其他静态单播路由算法而言, 该算法能够有效地提高路由服务质量, 在可扩展性、自适应性等方面更加合理。

## 参考文献

- [1] SonT A, An L, Khadraoui D, et al. Solving QoS routing problems by DCA [J]. Intelligent Information and Database Systems, 2010, 5991: 460-470
- [2] Ridhawi Y, Kandavanam G, Karmouch A. A dynamic hybrid-service overlay network for service compositions [C] // The 2011 World Congress in Computer Science, Computer Engineering, and Applied Computing. Las Vegas, Nevada, 2011
- [3] 林闯, 单志广, 任丰原. 计算机网络的服务质量 (QoS) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004
- [4] Xu W, He S, Song R, et al. Finding the K shortest paths in a schedule-based transit network, Comput [J]. Oper. Res., 2012, 39(8): 1812-1826
- [5] Yang H H, Chen Y L. Finding K shortest looping paths in a traffic-light network [J]. Computers & Operations Research, 2005, 32(3): 571-581

(下转第 141 页)

表2 密钥协商案例

p	q	基点 P	共享密钥
179	89	(147,127)	8265467715281373571619214721
347	173	(180,35)	350279742936782277391595361710
1279	71	(960,656)	543408563689463876420151214533
3163	17	(148,3136)	4654897654654321654866987521014
3701	37	(822,2628)	8735434134682245748635464673

由于本文所参考到的文献资料[10,11,13-15]都没有对所提出的密钥协商方法进行实际运行效率测试,无法获得相关数据进行比较分析,因此,这里仅对本文所提方案进行效率测试分析。如图3所示,本文提出的身份认证及密钥协商整体运行速度比较快,不考虑网络通信时间完成整个协商过程只需要20ms左右。

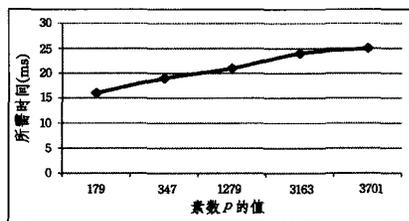


图3 不同素数值情况下的认证效率

素数  $p$  的选取原则是  $p$  值要能保证  $\#E(F_p)$  和  $p-1$  之间存在素的公因子  $q$ , 即  $q|p-1$ , 且  $q|\#E(F_p)$ 。

当  $p$  值较大时,确定椭圆曲线参数后,计算该椭圆曲线的阶和基点比较耗费时间。由于本文所提出的认证与密钥协商方法的计算过程都是在基点的基础上进行的,因此  $p$  值增大会直接导致计算时间的增加。

**结束语** 综上所述,本文提出了一个基于椭圆曲线的无双线性对无证书的双方认证密钥协商方案,解决了传统密钥协商方案中固有的密钥托管问题,提高了认证和密钥协商的效率。性能分析表明,该方案在安全性和效率方面具有较大优势,适合不活跃网络对象在计算资源受限的通信环境中使用。下一步将继续在实际应用环境中对方案做具体测试,进行可证安全方面的研究。

## 参考文献

[1] 杨力,张俊伟,马建峰.改进的移动计算平台直接匿名证明方案

(上接第128页)

- [6] 郑彦兴,田菁,窦文华.基于 Pareto 最优的 QoS 路由算法[J].软件学报,2005,16(8):1484-1489
- [7] 陈萍,董天临,石坚,等.一种基于概率的 QoS 单播路由算法[J].软件学报,2003,14(3):582-584
- [8] Korkmaz T, Krunz M. Bandwidth-delay constrained path selection under inaccurate state information[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2003, 11(3):384-398
- [9] Cohen A, Korach E, Last M, et al. A fuzzy-based path ordering algorithm for QoS routing in non-deterministic communication networks[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2005(150):401-417
- [10] Narvaez P, Siu K Y, Tzeng H Y. New dynamic SPT algorithm based on a ball-and-string model[J]. IEEE ACM Trans. Network, 2001, 9(6):706-718
- [11] 邹亮,徐建闽.基于遗传算法的动态网络中最短路径问题算法[J].计算机应用,2005,25(4):742-744

[J].通信学报,2013,34(6):69-75

- [2] 吴一尘,鲍苏芬.基于对称密钥加密的 RSN 密钥协商改进方案[J].计算机技术与发展,2013,23(6):132-135
- [3] 唐祚波,缪祥华.一种三方认证密钥协商协议的分析与改进[J].计算机工程,2013,39(1):139-143
- [4] 李丽琳,刘柱文.认证密钥协商协议的研究与分析[J].计算机安全,2013,4:43-46
- [5] 刘唐,汪小芬,肖国镇.一个强安全的无证书密钥协商协议的安全性分析与改进[J].计算机科学,2012,39(12):73-76
- [6] Al-Riyami S S, Paterson K. Certificateless Public Key Cryptography[C]//Advances in Cryptology-ASIACRYPT'03. Berlin: Springer-Verlag, 2003:452-473
- [7] Mokhtarnameh R, Ho S B, Muthuvelu N. An Enhanced Certificateless Authenticated Key Agreement Protocol[C]//Proc. of 13<sup>th</sup> International Conference on Advanced Communication Technology. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 2011:802-806
- [8] 杨浩民,张尧学,周悦芝.基于双线性对的无证书两方认证密钥协商协议[J].清华大学学报:自然科学版,2012,52(9):1293-1297
- [9] 舒剑.可证安全的无证书两方认证密钥协商协议[J].小型微型计算机系统,2012,33(9):2056-2063
- [10] Mandt T K. Certificateless authenticated two-party key agreement protocol [D]. Oppland Gjøvik University College, 2006
- [11] 朱志馨,董晓蕾.高效安全的无证书密钥协商方案[J].计算机应用研究,2009,26(12):4787-4790
- [12] Gao Meng, Zhang Fu-tai. Key-compromise Impersonation Attacks on Some Certificateless Key Agreement Protocols and Two Improved Protocols [C]//Proc. of the 1<sup>st</sup> International Workshop on Education Technology and Computer Science. Wuhan, China, 2009:62-66
- [13] 曹雪菲,寇卫东,樊凯,等.无双线性对的基于身份的认证密钥协商协议[J].电子与信息学报,2009,31(5):1241-1244
- [14] 潘进,刘小琼,李国朋.无双线性对的无证书两方认证密钥协商协议[J].计算机应用研究,2012,29(6):2240-2243
- [15] 刘文浩,许春香.无证书两方密钥协商方案[J].软件学报,2011,22(11):2843-2852
- [16] 张磊,张福泰.一类无证书签名方案的构造方法[J].计算机学报,2009,32(5):940-945
- [17] Chabini I, Shan L. Adaptations of the A\* algorithm for the computation of fastest paths in deterministic discrete-time dynamic networks[J]. IEEE Intelligent Transportation Systems Society, 2002, 3(1):60-74
- [18] 邹亮,徐建闽. A\* 算法改进及其在动态最短路径问题中的应用[J].深圳大学学报:理工版,2007,27(1):32-36
- [19] Tian Ye, Chiu Yi-chang, Gao Yang. Variable time discretization for a time-dependent shortest path algorithm[C]//14<sup>th</sup> International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). 2011:588-593
- [20] 秦勇,肖文俊.一种基于 QoS 度量的 Pareto 并行路由寻优方法[J].计算机学报,2009,32(3):463-472
- [21] 雍龙泉,邓方安.极大熵和声搜索算法求解多目标优化[J].计算机应用研究,2011,28(10):3653-3655
- [22] Xiao, Cao Jian-nong. An Efficient Algorithm for Dynamic Shortest Path Tree Update in Network Routing[J]. Journal of communication and networks, 2007, 9(4):409-510