

多提供商网络环境中移动代理路径寻优*

赵慧¹⁺, 侯建荣², 施伯乐¹

¹(复旦大学 计算机信息与技术系, 上海 200433)

²(上海交通大学 安泰管理学院, 上海 200052)

Searching the Optimal Route of a Mobile Agent in Multi-Provider Network Environment

ZHAO Hui¹⁺, HOU Jian-Rong², SHI Bai-Le¹

¹(Department of Computer Information and Technology, Fudan University, Shanghai 200433, China)

²(School of Aetna Management, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200052, China)

+ Corresponding author: Phn: +86-21-64077210, Fax: +86-21-65642219, E-mail: zhaohui@fudan.edu.cn

Received 2003-05-09; Accepted 2003-08-12

Zhao H, Hou JR, Shi BL. Searching the optimal route of a mobile Agent in multi-provider network environment. *Journal of Software*, 2004,15(8):1237~1244.

<http://www.jos.org.cn/1000-9825/15/1237.htm>

Abstract: In order to determine an optimal route, network performance and cost of many network providers must be compared when end-users visit the content provided by content providers under certain QoS constraints in multi-provider network. The correlative network information is collected by mobile Agent. The delay and cost between any two nodes of network is set to random variables. A minimum model with the expectation of cost and delay value is presented in a stochastic network. The optimal solution of the mobile Agent route from a service provider to a content provider is computed by using genetic algorithms. The obtained simulation results show the effectiveness of the above approach.

Key words: network management; mobile Agent; multi-provider network; expectation value objective; genetic algorithm

摘要: 在多提供商网络环境中,端用户在访问内容提供商提供的内容时,在一定的 QoS 约束下,服务提供商需要对多个网络提供商的网络性能和价格进行比较,为端用户确定一个最优路径。基于移动代理进行网络信息的采集,将网络延迟和成本均设为随机变量,在随机网络中建立了一个费用成本和延迟时间双重期望值目标的最小化模型,应用遗传算法对移动代理从服务提供商到内容提供商的路径进行了最优化解。仿真结果表明了算法的有效性。

关键词: 网络管理;移动代理;多提供商网络;期望值目标;遗传算法

中图法分类号: TP393 文献标识码: A

* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.69933010 (国家自然科学基金); the Natural Science Foundation of Shanxi Province of China under Grant No.2001x33 (陕西省自然科学基金)

作者简介: 赵慧(1968—),女,陕西西安人,博士,副教授,主要研究领域为分布计算,网络管理,面向对象软件工程;侯建荣(1965—),男,博士,副教授,主要研究领域为数值分析,优化理论;施伯乐(1935—),男,教授,博士生导师,主要研究领域为数据库理论与技术。

多提供商网络是指包含多个服务提供商(service provider,简称 SP)、多个网络提供商(network provider,简称 NP)和多个内容提供商(content provider,简称 CP)的网络环境^[1-3]。随着网络上商务活动的增多,端用户在访问内容提供商提供的内容时,在一定的 QoS 约束下,可能有多个网络可以竞争地向用户提供网络服务,也可能多个网络协同为用户提供网络服务。在这种情况下,服务提供商就需要对多个网络提供商的网络性能和价格进行比较,为端用户确定一个最优路径。流动代理在进行重要的网络数据采集这项第 1 步操作时,表现出独特的优势^[4-7],因此可以基于流动代理进行相关数据的采集。由于存在多个网络提供商,流动代理在采集网络信息时,可能的路径集合会很大。文献[3]在预定义的延迟约束下,采用遗传算法(genetic algorithm,简称 GA)进行了优化。文中假设网络延迟时间是预定义的确定性数据,并将网络延迟时间作为成本优化时的条件约束参数,通过惩罚因子估算路径的费用成本。但是当移动代理访问本地资源期间,由于网络环境存在不稳定性,节点间的连接也是不稳定的,连接速率随时会变化,也可能随时断开,每个连接上的延迟时间和网络的拥塞程度会逐渐变化^[8]。文献[9]针对 ATM 网络自适应虚拟路径讨论了如何重用过去的问题解,提出了将“训练基因”混合到新路径计算的初始种群的方法。但是,这样将导致早熟并阻止遗传算法得到更好的解。文献[3]没有将过去的解与 GA 的初始解进行融合,而是在 GA 获取最小路径所需循环的 70%完成之后,将过去的解融合到种群中。如果网络条件变化平缓,就可以利用上一次计算的最佳解;如果在给定的时间里网络条件变化剧烈,而且优化路径与过去的解完全不同,那么在 GA 的计算过程中,就不能通过将过去的解融合到种群中的方法来利用过去的解。因此,依据文献[7]的算法,为了得到有效的优化路径,根据某代最优染色体所代表链路的平均费用变化率来决定停止寻优所用的遗传算法,这样需要频繁地发送移动代理至目的地,由此会产生更多的网络流量,消耗更多的网络资源。在不考虑路径时间延迟的情况下,文献[10]提出了一种不依赖已知距离矩阵而确定移动代理的移动路径的算法。路径阈值定义为费用随机变量的平均值和标准差的函数。算法通过阈值因子将通信网络的边分为“好”边和“坏”边,优化的阈值点依赖一段时间里移动代理访问的节点数,即采集实时网络信息时移动代理经过的节点数。

国内相关领域的研究主要是针对组播路由和 QoS 路由进行优化。文献[11]和文献[12]都是针对延时约束的组播路由问题进行优化。文献[11]提出了一种延时约束费用最小的分布式动态组播路由启发算法,文献[12]给出一种遗传算法来求解带延时约束的组播路由问题,这两种优化算法描述模型所用参数(费用和延时)均为确定性变量。文献[13]提出了基于蚂蚁算法的 QoS 路由选择算法,链路的带宽、延迟和代价也设为确定性参数,并应用移动代理完成算法中蚂蚁的功能。文献[8]针对不确定参数对 QoS 路由的影响进行了有益的探索性研究,将性能参数带宽和延时的概率分布引入 QoS 路由算法,将路由问题转为一种概率空间的优化问题。

在多提供商网络环境中,端用户在访问内容提供商提供的内容时,在一定的 QoS 约束下,服务提供商需要对多个网络提供商的网络性能和价格进行比较,为端用户确定一个从服务提供商到内容提供商的最优路径。本文基于移动代理进行网络信息的采集,在一定的 QoS 约束下,将网络延迟和成本均设为随机变量,建立了费用成本和延迟时间双重期望值目标的最小化模型,应用遗传算法对移动代理的路径进行优化求解,并进行了仿真计算。

1 多提供商网络模型

在诸如 Internet 的开放环境下,未来的网络模型包含多种类型的提供商,共同为客户完成端到端的服务,例如电子商务、多媒体应用等^[1-3]。从功能上讲,服务提供商是客户唯一关联的提供商,负责定义服务特征并维护客户约定的设备,网络提供商向 SP 提供网络基础设施,内容提供商提供特定的服务,例如多媒体服务和电子商务服务等。从体系结构上进行分析,SP 是 NP 的客户,SP 向其自己的客户或端用户提供服务。由于在开放的市场中,存在多个提供商,就必然存在竞争的问题,因此,可能有多个不同的 NP 提供访问远程 CP 的网络联接,即一个 SP 可能通过多个不同 NP 提供的网络连接访问远程的 CP,不同的 NP 竞争地向其客户 SP 出售网络资源;一个 SP 也可能因负载分布、冗余和可靠的目的而与一个 NP 有多个连接。图 1 给出了一个多提供商网络模型。模型中有 3 个网络提供商,分别是 NP1, NP2 和 NP3,每个 NP 在自己的环境中负责资源分配和价格策略的制定,3 个网络之间有若干节点相连,允许相互通信。SP 阶段性地被告知与每个互联点相关的价格和时间延迟变化,3 个网络提供同样的对 CP 的访问机会。SP 负责确定客户的每个请求的最佳/最优路径,这个路径可能穿越一个网络或多个网络。若只穿越一个网络,SP 的责任是选择最佳路径;若穿越多个网络,SP 需要寻找最优路径解,这个最优路径解可

能是多个 NP 的所有可能路径的组合中的一个路径.在这种情况下,确定最优解就成为复杂的优化问题.因为涉及的参数很多,而且可能解集很大,所以通常具有多约束的 QoS 路径问题是 NP-Hard 问题^[14].遗传算法是解决多约束优化问题的好方法,且不依赖于问题本身的特征,而且根据所考虑问题的分布特征,GA 的并行特征向基于移动代理的网络管理体系结构提供了搜索大空间的有效方法^[9,10,13].

在这样一个多提供商的网络环境中,SP 应用流动代理为客户获取最佳/最优路径.也就是说,通过流动代理进行相关信息的采集与计算,将得到的最佳/最优路径信息返回给 SP.文献[2]和文献[15]描述了基于经纪人 (broker)的成本协商策略.

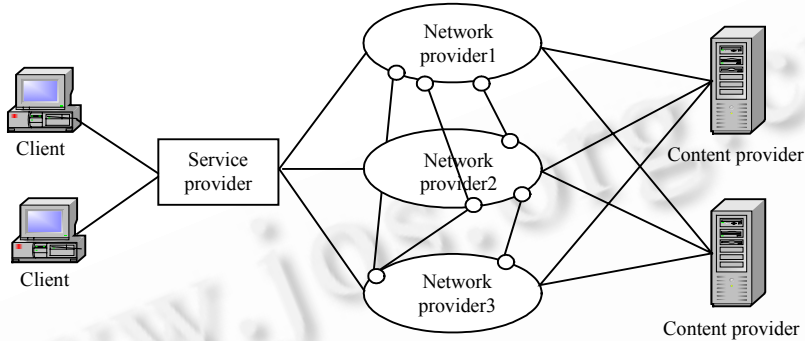


Fig.1 Multi-Provider network model

图 1 多提供商网络模型

2 模型与算法

2.1 问题定义及模型建立

与确定性网络路径寻优不同^[2,3,10-13],本文通过一个随机网络寻找最优路径以期达到费用成本和延迟时间双重目标的最小化.假设用图 $G = (V(G), E(G))$ 表示一个随机网络,有向图 G 是指定了一个网络有限节点元素的集合 V 及 V 中的不同节点之间联结的有序对集合 E .若 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, 则有序对为 $\{v_i, v_j\}$, 记为 v_{ij} , $E = \{v_{ij}\}$. 给定 G 中的两个特定点, v_s 为出发点 (SP), v_t 为终点 (CP), G 中其他点为中间节点, 设 $L_{st} = \{L_{st1}, L_{st2}, \dots, L_{stk}\}$ 是从 v_s 到 v_t 的 k 条随机路径集合, 每一条链路 L_{sti} 均为 $E = \{v_{ij}\}$ 中弧相连的元素有序排定形成的一个子集. 设 C_{ij} 为弧 v_{ij} 上预先设定的最大支付费用, $c_{ij} \geq 0$ 为弧 v_{ij} 上的一个费用随机变量, 其分布密度函数设为 $\phi(x)$, 则每一条链路 L_{sti} 上的费用 $C(c_{ij})$ 序列为定义于 E 上的一个 t 维随机向量 ξ , 其分布密度函数为 $\Phi(\xi)$. 同样地, 假设 T_{ij} , $t_{ij} (\geq 0)$ 和 $T(t_{ij})$ 分别为弧 v_{ij} 上预定的最大延迟时间、延迟时间随机变量以及定义于 E 上的每一条链路 L_{sti} 延迟序列 r 维随机向量 ζ , $\phi(x), \Psi(\zeta)$ 分别为对应于 t_{ij} 和 ζ 的分布密度函数.

设 $C(c_{ij})$ 是 G 上的一个随机费用链路, 若满足:

- 费用限制条件: 对每条弧 $v_{ij} \in E$, 满足 $0 \leq c_{ij} \leq C_{ij}$, 即每一条弧上的随机支付费用不能超出设定的最大支付费用;
- 平衡条件: G 中的每一中间节点 $v_i \in V \setminus \{v_s, v_t\}$, 满足 $\sum_{v_{ij} \in E} E(c_{ij}) - \sum_{v_{ji} \in E} E(c_{ji}) = 0$, 即在每一个中间点正反向

所支付的期望费用相等,

则称 $C(c_{ij})$ 为 G 上的一个可行的支付费用随机链路.

类似地, 可定义一个 $T(t_{ij})$ 为 G 上的一个可行延迟时间随机链路.

本研究的目标是求一个可行的随机链路, 使得总延迟期望值 $E[Z_1(X, \xi)]$ 和总费用期望值 $E[Z_2(X, \zeta)]$ 最小, 即下述的多目标随机规划问题的最优解:

$$\text{Min}E[Z_1(X, \xi)] = \text{Min}E\left(\sum_{(v_i, v_j) \in E} c_{ij} x_{ij}\right)$$

$$\begin{aligned} \text{Min}E[Z_2(X, \zeta)] &= \text{Min}E\left[\sum_{(v_i, v_j) \in E} t_{ij}x_{ij}\right], \\ \text{s.t.} \\ 0 \leq c_{ij} &\leq C_{ij}, \quad 0 \leq t_{ij} \leq T_{ij}, \quad x_{ij} = \begin{cases} 1, & v_i \text{和} v_j \text{直接连接} \\ 0, & v_i \text{和} v_j \text{无直接连接} \end{cases}, \\ \sum_{(v_i, v_j) \in E} c_{ij}x_{ij} &\leq a, \quad \sum_{(v_i, v_j) \in E} t_{ij}x_{ij} \leq b, \quad a \geq 0, \quad b \geq 0. \end{aligned}$$

在上述模型中,约束条件的后排两个不等式分别表示一个概率空间中从 v_s 经过一条可行随机路径到 v_t 的总费用约束和总延迟约束.

在决策者给定一个费用和延时预先的优先结构和预定的目标值的情况下,就可以把上述双重目标随机决策系统转化为下面的一个期望值单目标规划:

$$\begin{aligned} \text{Min}U(L_{stl}) &= \text{Min} \sum_{j=1}^2 w_j \sum_{i=1}^2 (p_{ij}d_i^+ + q_{ij}d_i^-), \\ \text{s.t.} \\ E[Z_1(X, \xi)] + d_1^- - d_1^+ &= b_1, \\ E[Z_2(X, \zeta)] + d_2^- - d_2^+ &= b_2, \\ 0 \leq c_{ij} &\leq C_{ij}, \quad 0 \leq t_{ij} \leq T_{ij}, \quad x_{ij} = \begin{cases} 1, & v_i \text{和} v_j \text{直接连接} \\ 0, & v_i \text{和} v_j \text{无直接连接} \end{cases}, \\ \sum_{(v_i, v_j) \in E} c_{ij}x_{ij} &\leq a, \quad \sum_{(v_i, v_j) \in E} t_{ij}x_{ij} \leq b, \quad a \geq 0, \quad b \geq 0. \end{aligned}$$

其中: U 表示由目标函数 $E(z_1)$ 和 $E(z_2)$ 及优先因子形成的一个效用函数;

P_j 表示目标函数 $E(z_1)$ 和 $E(z_2)$ 的相对重要性,为优先因子;

p_{ij} 表示对应优先因子 j 第 i 个目标的正偏差的权重因子;

q_{ij} 表示对应优先因子 j 第 i 个目标的负偏差的权重因子;

d_i^+ 为目标偏离预定目标值的正偏差,定义为 $d_i^+ = \begin{cases} E(Z_i) - b_i, & E(Z_i) \geq b_i \\ 0, & E(Z_i) \leq b_i \end{cases}$,

d_i^- 为目标偏离预定目标值的负偏差,定义为 $d_i^- = \begin{cases} 0, & E(Z_i) \geq b_i \\ b_i - E(Z_i), & E(Z_i) \leq b_i \end{cases}$,

b_i 为目标 i 的目标值.

$Z_1(X, \xi)$ 和 $Z_2(X, \zeta)$ 均为随机变量,分别为空间 R^t 和 R^r 上的两个实函数.其期望值分别为 $E[Z_1(X, \xi)] = \int_{R^t} Z_1(X, \xi)\phi(\xi)d\xi$, $E[Z_2(X, \zeta)] = \int_{R^r} Z_2(X, \zeta)\varphi(\zeta)d\zeta$.

为了适应维数较高的积分计算,采用随机模糊数方法.设 $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N$ 是从 $\phi(\xi)$ 中随机产生的 N 个 t 维随机向量,则 $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z_1(X, \xi_i)$ 可作为 $E[Z_1(X, \xi)]$ 的一个估计.同理,用 $\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M Z_2(X, \zeta_i)$ 作为 $E[Z_2(X, \zeta)]$ 的一个估计.其误差分别为 $O\left(N^{-\frac{1}{2}}\right)$ 和 $O\left(M^{-\frac{1}{2}}\right)$.

定义 1. 对于从 CP 到 NP 上的任意两条随机链路 L_{stl} 和 L_{stj} , L_{stj} 链路优于链路 L_{stl} 当且仅当 $U(L_{stj}) \leq U(L_{stl})$.

定义 2. 若 $U(L_{stj}) = \text{Minimum}\{U(L_{sti})\}_{i=1,2,\dots,k}$, 则称 $U(L_{stj})$ 是随机链路集 L_{st} 中的一条最优路径.

2.2 算法

优化问题中目标函数的多峰性及搜索空间的不规则性迫使人们采用具有高度鲁棒性的算法,以避免在局

部最优解周围徘徊.遗传算法是一种通过模拟自然进化过程搜索解空间中最优解的方法.在过去几十年里,遗传算法在大规模非线性优化方面已取得了成功的应用^[9,10,13,16].本文将利用这一算法求解上节所提出的优化模型的最优随机链路问题.

- 编码方法.对于任意一个可行的随机链路 L_{st} ,我们列出其上所有的节点序列.为了便于赋予一条链路一个固定的数字化特征结构,在编码空间中引入 0 元素.例如,编码 {13456000} 就表示 CP 和 SP 之间有 8 个节点.该条链路实际经过的节点有 5 个,路径为 SP-1-3-4-5-6-CP.该编码也就是遗传算法中一个个体的染色体.

- 初始化.首先,处理约束条件:通过变量替换,将约束条件中的等式转换成不等式;同时,对每一染色体进行可行性检查(最好用一个 C 语言子函数),以确保新产生的染色体在可行集中.其次,定义整数 $pop-size$ 作为染色体的个数,随机产生一定数目的染色体,由此产生的一组染色体 $\{V_1, V_2, \dots, V_{pop-size}\}$ 构成一个种群,该组染色体的数目称作种群规模,设初始种群规模为 P_0 .其中要用到第 2.1 节提到的随机模拟技术计算约束函数中的多重积分来检验染色体的可行性.

- 适应度评价函数.评价函数 ($eval(V_i)$) 对种群中的每个染色体指定一个概率 P_c ,使得该染色体被以后选择的可能性和种群中其他染色体的适应性形成比例,这样就保证了适应性强的染色体被选择产生后代的可能性大一些.本文采用链路的效用作为染色体解的适应度,同时把解的适应度归一化为区间 $[0,1]$ 上的一个数.

$$eval(V_i) = \frac{[\text{Max}(U(V_H)) - U(V_i)] \cdot \text{Min}(U(V_H))}{[\text{Max}(U(V_H)) - \text{Min}(U(V_H))] \cdot U(V_i)}$$

其中, $\text{Max}(U(V_H))$ 和 $\text{Min}(U(V_H))$ 分别意指第 H 代染色体种群中随机链路上效用函数的最大值和最小值, $eval(V_i)$ 为第 H 代种群上染色体 V_i 的适应度评价值.这里也要用随机模拟技术计算重积分,以便获得所有染色体的目标值.

- 选择过程.该过程模拟自然界生命的自然选择,那些具有高适应度值的染色体将生存下来,而具有低适应度值的染色体将被淘汰掉.选择过程是以旋转赌轮 $pop-size$ 次为基础,每次旋转都为新的种群选择一个染色体.具体步骤如下:

步骤 1. 对于每一个染色体计算其累计概率:

$$\begin{cases} q_i = \sum_{j=1}^i eval(V_j), i = 1, 2, \dots, pop-size \\ q_0 = 0 \end{cases}$$

步骤 2. 随机抽取一个数 $r \in (0, q_{pop-size}]$.

步骤 3. 若 $q_{i-1} \leq r \leq q_i$, 则选择第 i 个染色体 V_i ($1 \leq i \leq pop-size$).

步骤 4. 重复进行步骤 2 和步骤 3 总共 $pop-size$ 次,由此得到 $pop-size$ 个复制的染色体.

通过以上步骤,遗传算法始终收敛于某一个好的染色体解,而且在每一代最优解的基础上将有机会寻找到更好的解.

- 杂交.定义参数 P_c 作为交叉操作的概率, P_c 用来说明种群中有期望值为 $P_c \cdot pop-size$ 个染色体来参与交叉操作.为了确定杂交操作的父代,从 i 到 $pop-size$ 重复以下的过程:任取随机数 $r \in [0,1]$,若 $r \leq P_c$,则选择 V_i 作为一个父代.把所选的父代染色体随机分对 (V'_i, V'_j) .

以一对父代染色体 (V'_1, V'_2) 的杂交为例,采用动态杂交点选择方法假设 $N(V'_1)$ 和 $N(V'_2)$ 分别为两条随机链路的节点数,则染色体杂交点位置由算子 $T(\frac{N(V'_1) + N(V'_2)}{n})$ 操作决定, $n \in \mathbb{N}$.例如,设杂交前两个染色体分别为 $V'_1 = \{13456000\}$, $V'_2 = \{24780000\}$.由于 $T = (\frac{N_1 + N_2}{3}) = 3$,则杂交点定为第 3 个位置. $V''_1 = \{134780000\}$, $V''_2 = \{24756000\}$.

检查新后代染色体 V''_1 和 V''_2 的可行性,并用可行的后代取代父代.通过交叉操作,来自不同染色体上“好”的部分就可以组合在一起形成一个新的更好的染色体解.

- 变异操作.定义参数 P_m 作为变异概率.在满足随机数 r 小于变异概率 P_m 的条件下,随机选取父代中的一

个个体.对每一个父代染色体,通过随机地增加或者删除 1 个(或两个)节点形成一个新的染色体,同时对新染色体的可行性加以考察.

3 仿真计算

算例 1:考虑 3 个网络提供商 $NP_i(i=1,2,3)$ 、一个 SP 和一个 CP,有 6 个节点分属于不同的网络提供商,同一 NP 内可以内连接,而不同 NP 之间可以外连接,节点的标号以及连接情况如图 2 所示.假设对应于该网络环境的系统参数和服务需求(路径节点之间的费用 c_{ij} 和时间延迟 t_{ij} 以及它们各自的上限值)见表 1,其中系统参数均设为服从正态分布的随机变量(μ, σ^2), μ 为均值, σ^2 为方差,并且各链路上费用及延时随机变量均相互独立.假定延迟时间的优先级高于费用成本, $w_1 = 1, w_2 = 1.2$. 预定效用目标值为 8,链路费用最大值 $a = 7$,链路延迟时间最大值 $b = 3$.

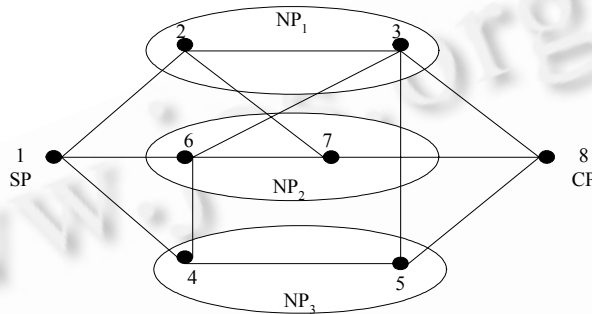


Fig.2 Experimental multi-provider network

图 2 多提供商网络示例

Table 1 Systematic parameters and service requests

表 1 系统参数和服务请求

Cost (c_{ij}) distribution and limitation			Delay (t_{ij}) distribution and limitation		
c_{12}	$N(2,3)$	[0,3]	t_{12}	$N(1,0.5)$	[0,1]
c_{14}	$N(2,4)$	[0,3]	t_{14}	$N(0.5,1)$	[0,1]
c_{16}	$N(1,3)$	[0,2]	t_{16}	$N(0.5,2)$	[0,1]
c_{23}	$N(2,1)$	[0,3]	t_{23}	$N(0.5,0.8)$	[0,1]
c_{38}	$N(2,3)$	[0,3]	t_{38}	$N(0.8,2)$	[0,1.5]
c_{27}	$N(2,1)$	[0,3]	t_{27}	$N(0.2,1)$	[0,1]
c_{67}	$N(1,0.5)$	[0,1]	t_{67}	$N(1,2)$	[0,1.5]
c_{78}	$N(3,2)$	[0,5]	t_{78}	$N(2,2)$	[0,2]
c_{36}	$N(5,2)$	[0,6]	t_{36}	$N(0.7,3)$	[0,1]
c_{64}	$N(1,1)$	[0,2]	t_{64}	$N(0.5,1)$	[0,1]
c_{45}	$N(3,6)$	[0,6]	t_{45}	$N(0.8,1)$	[0,1.5]
c_{35}	$N(1,2)$	[0,2]	t_{35}	$N(0.1,2)$	[0,1]
c_{58}	$N(1,1)$	[0,2]	t_{58}	$N(0.6,0.5)$	[0,1]

算例模拟中所用遗传算法的相关参数:种群规模为 30,交叉概率 $P_c=0.8$,变异概率 $P_m = 0.2$. 经过 120 代进化后,基于随机模拟的遗传算法给出的最优链路为 1-2-3-5-8.效用函数最优解为 7.8,此时链路所耗费用为 6.4,延迟时间为 2.2,其可靠性概率为 0.95.

图 3 表明了种群数目对算法收敛速度的影响,其中点线是 $pop-size = 30$ 时的收敛情况,收敛速度较快;实线表示 $pop-size = 50$ 时的收敛情况,收敛速度较慢.由此可见,种群规模取值合适时,收敛速度比较快;种群规模较大时,虽然可以阻止早熟收敛的发生,但使得收敛时间延长.至于如何确定最佳种群规模,是研究遗传算法的重要课题之一,理论性结果很少.

在种群规模不变的情况下,进化的初期用较大的遗传参数($P_c = 0.8, P_m = 0.2$),而在进化后期(第 50 代后),采用较小的参数($P_c = 0.3, P_m = 0.05$).结果表明,初期较大的参数选择有助于全局搜索,而后期较小的参数选择能够

增强局部搜索,从而总体上加速了算法的收敛性.图 4 中实线表示在进化前后采用由大到小不同的遗传参数下,算法的收敛速度.点线表示采用算例 1 中的遗传参数所得的遗传算法的收敛速度.显然,前者收敛到最优解的速度快于后者.

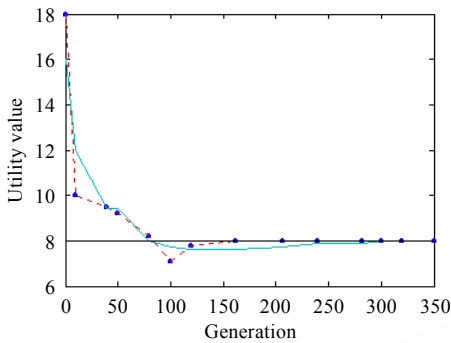


Fig.3 The effect of pop-size on the convergence speed of GA

图 3 种群数量对遗传算法收敛速度的影响

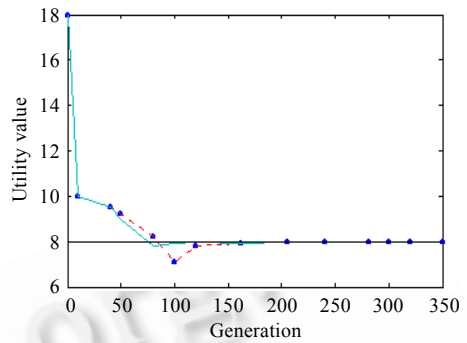


Fig.4 Convergence speed of GA with different genetic probabilities

图 4 不同遗传概率下遗传算法的收敛速度

算例 2:在算例 1 的基础上依次增加节点数,每次实验新增节点分别平均地分配于 NP_1, NP_2, NP_3 中,新旧节点连接的系统参数也设为服从正态分布的随机变量 (μ, σ^2) ,费用成本分布和限制分别设为 $N(1,1)$ 和 $[0,2]$,延迟时间分布和限制分别设为 $N(1,2)$ 和 $[0,1]$,预定效用目标, w_1, w_2 及 a, b 参数限制同算例 1,遗传算法所用参数也同算例 1.

图 5 结果表明,随着网络节点数的增加,在所设特定 QoS 的限制下,算法所得效用函数值并没有显著增大,说明遗传算法具有良好的性能,但达到优化解的可靠性概率则有下降趋势.

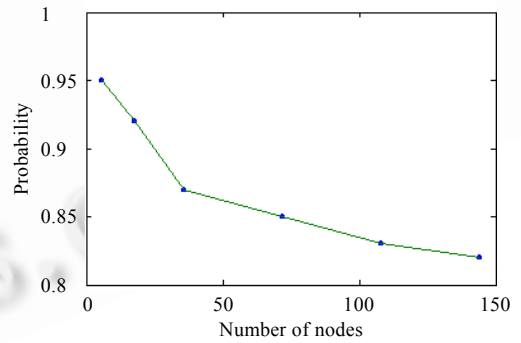
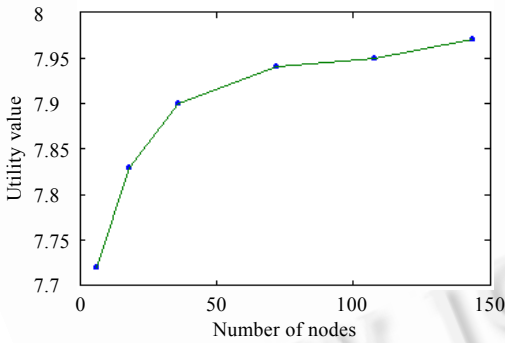


Fig.5 Change of utility value and probability with the number of network nodes

图 5 效用值及概率关于网络节点数的变化

4 结束语

多提供商网络是包含多个服务提供商、多个网络提供商和多个内容提供商的网络环境.当网络上商务活动增多时,在一定的 QoS 约束下,端用户在访问内容提供商提供的内容时,服务提供商就需要对多个网络提供商的网络性能和价格进行比较,为其确定一个最优路径.在网络管理领域,流动代理在进行网络数据采集这项重要的第 1 步操作时,表现出独特的优势.随着 Internet 的成功应用,网络接入技术的发展以及多个 ISP 协同提供服务的趋势的增长,使得 Internet 的不确定性成为不可避免的固有特性.本文描述了多提供商网络模型,针对多提供商网络环境中流动代理路径寻优问题,将费用成本和延迟时间均设置为随机变量,借助于偏好关系建立了综合费用和延迟时间的效用目标函数.通过随机模拟的遗传算法来寻找最优路径,以期达到效用函数期望值目标的最

小化.我们对本文提出的模型进行了数据的仿真计算,并讨论了遗传参数对收敛速度和最终解的影响.

References:

- [1] Falchuk B, Cheng KE, Lin FJ, Pinheiro B, Jokubaitis V. An agile server for cross-provider service peering and aggregation. *IEEE Communications Magazine*, 2003,41(3):126~136.
- [2] Ye J, Papavassiliou S. Dynamic market-driven allocation of network resources using genetic algorithms in a competitive electronic commerce marketplace. *Int'l Journal of Network Management*, 2001,11(6):375~385.
- [3] Papavassiliou S, Puliafito A, Tomachio O, Ye J. Mobile Agent-based approach for efficient network management and resource allocation: Framework and applications. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2002,20(4):858~872.
- [4] Bivens A, Gao L, Hulber MF, Szymanski B. Agent-Based network monitoring. In: Proc. of the Int'l Conf. on Autonomous Agents (Agents'99). Seattle, 1999. <http://www.cs.cf.ac.uk/User/O.F.Rana/agents99/papers/okpapers/order/szymanski.ps>
- [5] Li YW, Meng LM, Qi F. The study and perspective of mobile Agent applications in network management environment. *Acta Electronic Sinica*, 2002,30(4):564~569 (in Chinese with English abstract).
- [6] Puliafito A, Tomachio O. Using mobile Agents to implement flexible network management strategies. *Computer Communications*, 2000,23(4):708~719.
- [7] Gavalas D, Greenwood D, Ghanbari M, O'Mahony M. Implementing a highly scalable and adaptive Agent-based management framework. In: Proc. of the IEEE Global Communications Conf. (Globecom 2000). 2000. 1458~1462. http://www.it.itb.ac.in/~it612/resources/repository/GLOBECOM00/vol3/Implementing_a_highly_scalable.pdf
- [8] Feng J, Gu GQ. Research on QoS routing based on uncertain parameters. *Journal of Computer Research and Development*, 2002,39(5):533~539 (in Chinese with English abstract).
- [9] Tantertid S, Worawit S, Watit B. An optimum virtual paths network-based ATM network using the genetic algorithm. *Int'l Journal of Network Management*, 1998,8(3):159~169.
- [10] Morawek R. Threshold route optimization algorithm for information retrieving mobile Agents. In: Proc. of the 6th Int'l Workshop on Cooperative Information Agents VI, 2002. London: Springer-Verlag, 2002. 312~320. <http://www.morawek.at/publications/constThreshold.pdf>
- [11] Wang ZY, Shi BX, Liu W. A distributed dynamic delay-constrained least-cost multicast routing heuristic. *Journal of Software*, 2001,12(1):1~10 (in Chinese with English abstract).
- [12] Liu Y, Wu JP. A delay-constrained multicast routing algorithm based on heuristic genetic algorithm. *Journal of Computer Research and Development*, 2003,40(3):381~386 (in Chinese with English abstract).
- [13] Tao J, Gu GQ. Application research on QoS-based routing using ant algorithm and based on mobile-Agent. *Journal of Computer Research and Development*, 2003,40(2):180~186 (in Chinese with English abstract).
- [14] Wang Z, Crowcroft J. Quality-of-Service routing for supporting multimedia applications. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1996,14(7):1228~1234.
- [15] Sorte DD, Reali G. Minimum price inter-domain routing algorithm. *IEEE Communications Letters*, 2002,6(4):165~167.
- [16] Berger J, Sassi M, Salois M. A hybrid genetic algorithm for the vehicle routing problem with time windows and itinerary constraints. In: Banzhaf W, Daida JM, Eiben AE, Garzon MH, Honavar V, Jakiela MJ, Smith RE, eds. Proc. of the Genetic and Evolutionary Computation Conf. 1999 (GECCO'99). Vancouver, Morgan Kaufmann, 1998. 44~51.

附中文参考文献:

- [5] 李治文,孟洛明,元峰.网络管理环境下移动代理技术应用研究的现状、问题与展望. *电子学报*, 2002,30(4):564~569.
- [8] 冯径,顾冠群.基于不确定参数的 Qos 路由研究. *计算机研究与发展*, 2002,39(5):533~539.
- [11] 王征应,石冰心,刘伟.一种延时约束费用最小分布动态组播路由算法. *软件学报*, 2001,12(1):1~10.
- [12] 刘莹,吴建平.求解带时延约束组播路由问题的启发式遗传算法. *计算机研究与发展*, 2003,40(3):381~386.
- [13] 陶军,顾冠群.基于移动代理的蚂蚁算法在 Qos 路由选择中的应用研究. *计算机研究与发展*, 2003,40(2):180~186.