

基于环境感知的多路径路由算法

林沛*, 胡建军

(甘肃联合大学 电子信息工程学院, 兰州 730000)

(*通信作者电子邮箱 chenunkiss@163.com)

摘要: 认知网络能够提高网络端到端的性能, 确保服务质量(QoS)要求。而目前普遍使用的路由算法不具备网络认知能力。针对这一问题, 提出一种具有认知能力的负载均衡多路径路由算法, 该算法结合了Q学习算法和蚁群算法各自的优点, 通过蚁群算法完成路径的建立和维护, Q学习算法实现拥塞规避和负载均衡。使用OPNET仿真比较, 表明该算法在时延、带宽利用方面均具有较好的性能。

关键词: 多路径路由; 认知网络; Q学习算法; 蚁群算法; 拥塞避免

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A

Environment-aware multiple-path routing algorithm

LIN Pei*, HU Jianjun

(School of Electronic and Information Engineering, University of Gansu Lianhe, Lanzhou Gansu 730000, China)

Abstract: Cognitive network can improve the end-to-end performance of the network, and ensure QoS (Quality of Service) requirements. The existing routing algorithm does not have cognitive ability. To solve this problem, a multi-path routing algorithm of cognitiveload balancing was proposed, which combined the advantages of Q-learning algorithm and ant algorithm, to establish and maintain the route through ant algorithm, and to achieve congestion avoidance and load balancing by Q-learning algorithm. The simulation contrast with OPNET shows that the algorithm is valid and effective at controlling packet loss ratio, delay and bandwidth utilization.

Key words: multiple-path routing; cognitive networks; Q-learning algorithm; ant colony algorithm; congestion avoidance

0 引言

多路径路由的负载均衡、故障容忍、带宽聚合等特性增强了网络的鲁棒性、可靠性。目前 Cisco 公司的增强内部网关路由协议 (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol, EIGRP) 具有等价负载均衡能力, 其他路由器生产厂商如 Juniper 也使用了类似的技术, 但是都不能满足自适应能力的要求, 网络资源没有得到充分利用, 也不能满足服务质量 (Quality of Service, QoS) 要求。认知网络^[1] (Cognitive Network) 能够觉察网络环境, 通过对外部环境的理解与学习, 实时调整通信网络内部配置, 智能地适应外部环境的变化, 它的这种动态自适应性增强了网络的性能, 确保了 QoS 要求。正因如此, 认知网络已经成为国内外学者研究的热点^[2-4]。

蚁群算法是受自然界中蚂蚁寻路行为的启发而产生的一种具有自适应特性的分布式算法, 其优点是不需要进行大量的概率计算和建立复杂的数学模型, 网络收敛速度快, 但缺点是不能快速进行负载均衡, 而且重新寻路的消息开销有可能产生新的拥塞^[5-6]。文献[6]提出一种支持 QoS 的多路径路由算法, 即 AMP (Ant Multiple-Path) 算法。AMP 算法利用蚁群算法探索多径路由, 通过引入自适应的拥塞规避策略来避免和缓解网络拥塞, 既满足了 QoS 要求, 又充分利用网络资源。然而该算法不能快速进行负载均衡。

Q 学习算法是 1989 年由 Watkins 等^[7] 提出的一种无模型强化学习算法, 其优点是负载均衡能力强, 但缺点是网络收

敛速度较慢^[8], 由于学习是实时的, 参数的频繁变化容易造成网络震荡。

本文结合蚁群算法和 Q 学习算法各自的优点, 提出一种环境感知的多路径路由算法, 命名为 AQMP (Ant Q Multiple-Path)。该算法利用蚁群算法建立和维护路由, 通过 Q 学习策略实现负载均衡和规避拥塞。仿真表明, AQMP 算法能够很好地规避网络拥塞, 满足 QoS 要求。

1 AQMP 算法的基本思路

1.1 路径的建立与维护

路由建立之初, 每个节点向它的所有邻居节点洪泛蚂蚁, 邻居节点收到蚂蚁后, 检查自己是否在节点表中, 如果不在, 添加本地路径信息并再次洪泛蚂蚁, 同时向源节点发送路径信息反馈蚂蚁。源节点收到反馈蚂蚁后, 计算从源节点到目标节点的路径延迟, 并与原有路径比较, 路径相同保存延迟最小的; 路径不同则以延迟由小到大排序并保存, 如果延迟相同, 则按带宽由大到小排列。由于每个节点都能够收到蚂蚁, 并且到达同一节点的多只蚂蚁必然是沿不同路径到达的, 通过多轮蚂蚁泛滥后, 网络最终收敛。当节点数恒定时, 网络达到收敛。

本文蚁群算法的功能是搜索路径、探测状态、通告拥塞, 因此设计三种蚂蚁, 蚂蚁的结构见表 1。

Type = 0, 1, 2, 其中: 0 表示搜索路径蚂蚁, RouteTab 为访

收稿日期: 2013-04-27; 修回日期: 2013-06-24。

基金项目: 甘肃省高等学校研究生导师科研项目 (1215-04); 甘肃联合大学科研能力提升计划骨干项目 (2012GCTS01)。

作者简介: 林沛 (1983 -), 男, 甘肃武山人, 讲师, 硕士, CCF 会员, 主要研究方向: 网络安全、网络规划与优化; 胡建军 (1971 -), 男, 甘肃天水人, 副教授, 硕士, 主要研究方向: 计算机网络、信息处理。

问过的节点序列;1 表示探测状态蚂蚁,RouteTab 为状态变化节点序列;2 表示通告拥塞蚂蚁,RouteTab 为拥塞节点序列。

Delay 的计算公式为

$$Delay' = Delay + T + q + p \quad (1)$$

其中: T 表示传输延迟, q 表示排队延迟; p 表示处理延迟,对于源节点 $Delay = T$,如果本节点是目的节点,则本地延迟等于零,即 $Delay = 0$ 。

表 1 蚂蚁的结构

Source-ID	Dest-ID	TTL	Type	RouteTab	Delay	Bandwith	QoS parameters
-----------	---------	-----	------	----------	-------	----------	----------------

1.2 数据转发和拥塞规避

本文 Q 学习算法使用非贪婪的 Boltzmann 策略进行学习^[10]。

选择下一节点使用如下概率公式:

$$p_k(x, y) = \frac{e^{-\lambda Delay_k(x, y)}}{\sum_{y' \in N_y} e^{-\lambda Delay_k(x, y')}} \quad (3)$$

其中 $\lambda > 1$ 表示探索等级。

当数据包到达下一个节点 z 时,将向节点 k 反馈一个蚂蚁(信息包),该蚂蚁携带 $Delay_k$ 的更新,更新公式如下:

$$Delay_k^+(x, y) = T_k(y) + q_k + \min_{z' \in N_z} Delay_y(x, z') \quad (4)$$

$$Delay_k^-(x, y) = Delay_k(x, y) + \mu(Delay_k^+(x, y) - Delay_k(x, y)) \quad (5)$$

其中: $T_k(y)$ 是从节点 k 到节点 y 的传输时间, q_k 是在节点 y 的处理时间, $0 \leq \mu \leq 1$ 表示学习效率, $T_k(y)$ 和 $Q_y(x, z')$ 包含在反馈蚂蚁中。

当转移概率小于某个阈值时(通过多次测量,以平均值作为阈值),通过发送探测蚂蚁获得 $T_k(y)$ 和 $Delay_y(x, z')$ 信息;当转移概率大于等于某个阈值时,周期性地发送探测蚂蚁,此时认为网络运行在最佳状态,无须学习;当下游节点发送了拥塞预警蚂蚁时,由于预警蚂蚁携带了 $T_k(y)$ 和 $Delay_k$ 信息,上游节点的 $Delay_k$ 值将发生变化,从而转移概率随之变化,因此学习又一次开始,这一过程一直持续,直至拥塞解除。

2 AQMP 的负载均衡和拥塞规避

网络收敛后,节点的转移概率和延迟 $Delay$ 在误差允许的范围之内,为减少网络震荡,这两个参数将保持不变。随后,为了及时探测链路的质量,通过周期性发送探测蚂蚁检查延迟 $Delay$ 是否在误差允许的范围之内,如果大于阈值,需要重新计算参数,以适应网络环境,否则参数值保持不变;当节点的转移概率低于阈值时,无条件发送探测蚂蚁,直至网络恢复。如果节点收到下游节点发来的拥塞通告蚂蚁,此时 $Delay$ 是正的实数,它首先检查有无备份路由,如果有,则启用式(5)进行惩罚计算,由于 $Delay$ 值的上升使得转移概率随之下降,而其他链路的转移概率随之上升,把一部分流量分流,规避了拥塞的发生;如果没有备份路由,则拥塞通告再转发给它的上游,由它的上游节点再进行负载均衡。当一个节点的拥塞预警解除后,又向上游节点发送拥塞通告蚂蚁,此时 $Delay$ 是负的实数,上游节点执行反向运算,恢复到之前的最佳状态。另外,由于每个节点可能存在多条备份路由,因此系统在初期就已经进行负载均衡,降低了拥塞出现的可能性。

对链路拥塞状态的判断,采用与文献[6]相同的方法,即 RED(Random Early Detection)^[11]方法,亦即计算缓冲区队列的平均长度,并与上限(=0.7 * 总的缓冲区长度)和下限(=

Bandwith 的计算公式为

$$Bandwith' = \min\{Bandwith, NbBandwith\} \quad (2)$$

其中 $NbBandwith$ 表示待转发邻居链路的带宽。

三种蚂蚁发送的规则是:

- 1) 路由表为空,或者目标不可达,发送探索路径蚂蚁;
- 2) 周期性地发送探测状态蚂蚁,测量路径质量;
- 3) 当超出节点缓冲区预警值时,发送拥塞通告蚂蚁。

0.3 * 总的缓冲区长度)的阈值比较。如果低于下限阈值,发送负的 $Delay$ 拥塞通告蚂蚁,进行奖赏;如果高于上限阈值,发送正的 $Delay$ 拥塞通告蚂蚁,进行惩罚。

归纳起来,就是通过路由(最佳路由、备份路由)转移概率的不同实现负载均衡,通过发送拥塞通告蚂蚁规避网络拥塞。

一般传感网络存在部分关键区域节点能量消耗过快、路由选择算法单一及 Sink(汇聚节点或者网关节点)节点失效的问题。在基于 Q 学习算法的传感器研究中,一般都是利用 Q 学习方法综合考虑各种环境因素(节点的通信能力、跳数、剩余能量等),进行周期性的学习训练,优化路径选择,最后按照计算得到的 Q 评估值选择最优的路径进行数据传送,从而有效延长网络的使用寿命。本文中主要利用 Q 学习算法的负载均衡能力强这一特点,结合蚁群算法规避了网络拥塞的问题。

3 算法仿真

本章应用 OPNET 仿真平台对 AMP 算法和 AQMP 算法的性能进行仿真比较,所用的网络拓扑及其参数设置参照文献[6],如图 1 所示。图 1 中各条链路的带宽和传输时延已在图中标出。在节点 10 处有一个数据源,目的节点是 7。

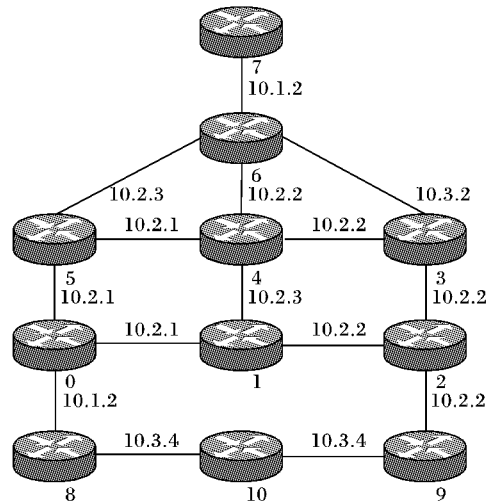


图 1 网络拓扑示意图

与文献[6]一致,数据源也采用负指数分布开/关数据源,在数据发送期间,将以恒定速率发送数据包。仿真开始时,节点 10 处的数据源的发送速率为 2 Mb/s,然后以 500 kb/s 为步长渐增,且数据源的发送和停止的持续时间的平均值为 100 ms。各链路判断网络拥塞的上限阈值为 $0.7 \times$ 总的缓冲区长度,下限阈值为 $0.3 \times$ 总的缓冲区长度。通过不断增加数据源的发送速率,使网络负载增大,当负载达到上限阈值时产生拥塞。通过负载的变化,比较 AMP 和 AQMP

算法的性能。

3.1 网络时延

图2和图3分别是两种算法端到端的平均时延、平均延迟。从图2两条曲线的比较中可以看出, AQMP算法的端到端延迟低于AMP算法, 尽管延迟出现先于AMP算法, 但是随后的增长要比AMP缓慢, 这主要是因为, AQMP实施负载均衡, 而AMP实施多路选择; 从图3两条曲线的比较中可以看出, AQMP算法的平均时延也要好于AMP算法, 在10 min之前, 前者高于后者, 但是, 10 min后前者在总体上又比后者低。这表明, AQMP算法在网络时延上总体要比AMP好。当然, 如果链路轻载运行, AMP算法又要好于AQMP, 原因是AMP没有运行负载均衡。

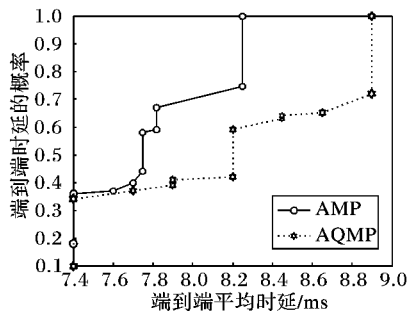


图2 端到端延迟

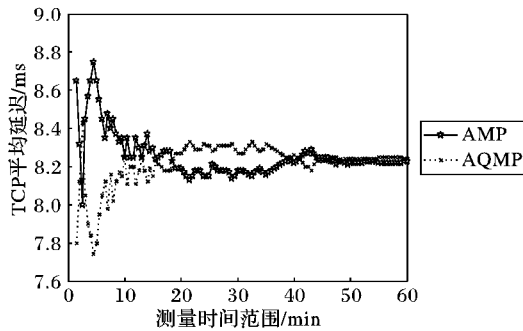


图3 平均延迟

3.2 端到端的吞吐量

图4是两种算法端到端的吞吐量。从图4两条曲线的比较中可以看出, AQMP算法端到端的吞吐量比AMP算法高, 这主要是因为, AQMP实施负载均衡后, 各链路的总和要比单个链路的带宽要大, 而AMP算法只有最佳链路的流量, 因此总量不会高于AQMP算法。这一结果表明, AQMP算法在网络吞吐能力上要明显优于AMP算法。

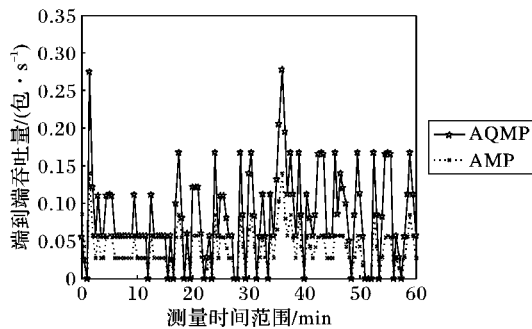


图4 端到端的吞吐量

由于AMP算法所利用的均是节点中已有的信息, 在一定程度上增加了存储量, 网络时延较大, 无法保证传输的平滑性, 本文提出的AQMP算法利用Q学习算法来实现网络负载均衡, 从而使得网络的平均时延好于AMP算法, 同时网络吞吐量明显高于AMP算法, 一定程度上弥补了AMP算法的不足。

3.3 各节点存储转发功耗

图5统计的是节点存储转发信息消耗的能量, 应用AQMP算法进行通信时, 各个节点的能量消耗相对比较平均, 而总体上分析, 应用AMP和AQMP算法转发消息所消耗的能量基本持平。

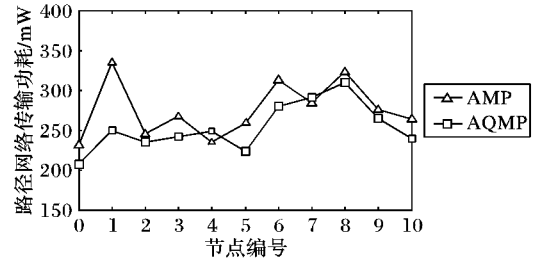


图5 各节点存储转发功耗统计

4 结语

结合认知网络的特性, 设计了一种蚁群算法和Q学习算法相结合的多路径路由算法, 将寻路和数据转发任务分离。与已有算法相比, 由于在拥塞预警发出后, 无需重新寻路, 而是直接启用备份路由, 避免了因寻路而导致的实际网络拥塞, 另外算法采用马尔可夫模型进行数据转发, 在转发初期就已经启用了负载均衡策略, 这也使得拥塞出现的概率降低。仿真表明, 算法具有一定的优越性。由于算法保存了大量的备份路由, 这在一定程度上增加了存储量, 另外负载均衡从一开始就运行, 因此数据的分流、缓冲区的设置、数据包排队将是以后的研究方向。

参考文献:

- [1] THOMAS R W, DASILVA L A, MACKENZIE A B. Cognitive networks [C]// Proceedings of IEEE DySPAN 2005. Piscataway: IEEE, 2005: 352 - 360.
- [2] GEORGIA S. The cognitive packet network: A survey [J]. Computer Journal, 2010, 53(3): 268 - 279.
- [3] LAURENCE A H. Reduced complexity algorithm for cognitive packet network routers [J]. Computer Communications, 2008, 31(16): 3822 - 3830.
- [4] DILIP S. Transport layer protocols for cognitive networks [C]// Proceedings of 2010 IEEE Conference on Computer Communications Workshops. Piscataway: IEEE, 2010: 1 - 6.
- [5] 林国辉, 马正新, 王永前, 等. 基于蚂蚁算法的拥塞规避路由算法 [J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2003, 43(1): 1 - 4.
- [6] 王传臣, 张润彤, 李丹丹, 等. 认知网络中的拥塞规避多径路由算法 [J]. 电子学报, 2011, 39(8): 1858 - 1863.
- [7] WATKINS C, DAYAN P. Q-learning [J]. Machine Learning, 1992, 8(3/4): 279 - 292.
- [8] LEE M, MARCONETT D, YE X H, et al. Cognitive network management with reinforcement learning for wireless mesh networks [C]// Proceeding of 7th IEEE International Workshop - IP Operations and Management. Piscataway: IEEE, 2007: 168 - 179.
- [9] 乐天助. 认知网络路由技术研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2011.
- [10] PACUT A, GADOMSKA M, IGIELSKI A. Ant routing vs. Q-routing in telecommunication networks [C]// Proceedings of the 20th European Conference on Modelling and Simulation. [S.l.]: European Council for Modelling and Simulation, 2006: 22.
- [11] FLOYD S, JACOBSON V. Random early detection gateways for congestion avoidance [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1993, 1(2): 397 - 413.