

文章编号:1671-6833(2010)05-0103-03

## 基于热点链路的多路径路由选择算法

宋家友<sup>1</sup>, 赵丹丹<sup>1,2</sup>, 程东年<sup>2</sup>, 苏金<sup>3</sup>, 孟海成<sup>1</sup>

(1. 郑州大学 信息工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 国家数字交换系统工程技术研究中心, 河南 郑州 450002; 3. 武汉大学 信息管理学院, 湖北 武汉 430072)

**摘要:** 针对有线传输网络中由于个别区域链路负载过重而导致的拥塞问题, 突破现有的网络路由框架, 提出了一种新的多路径路由算法, 为网络运行提供了一个更加稳定的环境. 该算法将路由信息保存在源节点中, 一旦出现链路负载过重的情况, 将自动调用该路由机制, 并依此在源节点中采用替换路径或多路径并发的方式进行数据传输, 从而达到解决链路拥塞的目的. 最后, 通过实验仿真得出该算法将数据包吞吐量从 100 Mbps 提高到 300 Mbps 左右, 并在一定程度上使丢包率从 13.6% 降低至 0.98%, 从而达到新的网络负载均衡.

**关键词:** 拥塞控制; 多路径; 路由; 热点链路

**中图分类号:** TP393

**文献标识码:** A

### 0 引言

近年来, 计算机通信网络的飞速发展, 离不开其中的关键技术——路由技术. 在早期的互联网单路径路由工作模式下, 比较典型的单路径路由算法有: Dijkstra 最短路径算法<sup>[1]</sup>、SWP 最短最宽路径算法<sup>[2]</sup>、WSP 最宽最短路径算法<sup>[3]</sup>等. 这些算法机制, 传输节点只能通过单个下一跳进行数据的转发与传输, 使得报文在网络传输中总是倾向占用处理能力强的节点和链路, 这就导致一些节点、链路总处于拥塞或高负荷状态, 而另一些节点大部分时间负载相对较低, 从而容易导致网络中出现链路拥塞, 造成数据包丢失, 网络吞吐量减小, 链路负载失衡等问题.

针对单路径路由的局限性, 国内外学者提出了不少关于多路径的路由策略, 例如 WDP 最宽不相交路径<sup>[4]</sup>、MPLS 最优多路径<sup>[5]</sup>、ECMP 等代价多路径、MPLS 自适应流量工程算法<sup>[6]</sup>. 这在很大程度上解决了单路径所带来的弊端, 使网络的承载能力大大提高. 然而, 这些算法在不同程度上都存在一定的缺点, 比如, WDP 算法针对链路出现瓶颈状态时, 使链路上互不相交, 该算法可以在端到端的网络传输中发挥优越的性能. 但是,

它要求静态建立源节点和目的节点之间的所有路径可行, 不但增加了工作量, 也使之不能灵活适应网络结构的动态变化, 从而限制了该算法的应用范围. ECMP 算法增加了网络的吞吐量, 然而网络结构的千变万化, 使等代价多路径的存在不太现实, 从而制约了其发展.

通过借鉴国内外已有的路由选择算法研究<sup>[7-12]</sup>, 笔者提出一种新的基于热点链路的多路径路由算法 HLSMPRA (Hot Link Split Multi-Path Routing Algorithms). 该算法针对网络中重负荷链路, 通过为数据包转移路径来缓解热点链路负担, 从而减少网络拥塞, 降低丢包率.

### 1 HLSMPRA 算法设计

HLSMPRA 算法主要针对有线传输网络易出现的由于极个别区域发生拥塞导致整个网络性能下降的问题. 首先, 将路由信息保存在源节点中, 以便出现拥塞时依此在源节点中采用替换路径或多路径并发的方式进行数据传输. 其次, 定期查询并记录各链路带宽信息, 通过对比剩余带宽来判断链路是否处于过载状态. 最后, 为了避免拥塞发生, 需要控制重负荷链路上某时刻的流量分配, 从而减轻重负荷链路负载过重的压力.

收稿日期: 2010-01-03; 修订日期: 2010-03-26

基金项目: 国家“973”计划资助项目 (2007CB307100)

作者简介: 宋家友 (1962-), 男, 河南郑州人, 郑州大学教授, 博士, 从事通信信息系统的研究, E-mail: songjy@zzu.edu.cn.

下面通过定义一个特定网络拓扑结构来对该算法进行描述。

定义1: 给定网络拓扑  $G = \{N, L\}$ ,  $N$  代表网络中的节点集,  $L$  代表网络中的链路集.  $l = \{n_i, n_j\}$ ,  $l$  代表从节点  $n_i$  到节点  $n_j$  的一条链路 ( $i, j$  均为自然数),  $l \in L$  即  $l$  是  $L$  集合的子集。

定义2:  $C(n_i, n_j)$  为链路带宽的最大容量,  $b(n_i, n_j)$  为链路剩余带宽, 由下式得出:

$$b(n_i, n_j) = C(n_i, n_j) - \sum_{i=0}^k B_i \quad (1)$$

其中,  $B_i$  是第  $i$  条链路已用带宽。

定义3: 设定链路带宽门限上限和下限分别为  $B_h$ ,  $B_l$  ( $B_h = \alpha \cdot C$ ,  $B_l = \beta \cdot C$ ,  $0 < \beta < \alpha < 1$ ), 接下来给出公式(2)和公式(3), 作为链路重负荷或空闲的判断标准。

$$b(n_i, n_j) < B_l \quad (2)$$

$$b(n_i, n_j) > (B_h + B_l) / 2 \quad (3)$$

本文 HLSMPRA 算法中所要用到集合  $A$  是用来存储重负荷链路,  $P$  则是用来存储空闲链路的集合,  $w$  代表链路上的节点,  $sp$  是其中的链路,  $SP$  是链路的集合。步骤如下:

(1) 调用 Dijkstra 算法, 求源节点与目的节点的最短路径  $sp$ 。如果集合  $SP$  为空, 退出, 否则继续下一步。

(2) 对  $SP$  中每条通路进行比较搜索, 统计各链路出现的频度, 并按带宽从高到低的顺序进行排序。

(3) 定期查询  $SP$  中各链路剩余带宽数。

(4) 由式(2)判定该链路为重负荷链路, 并将该链路归类放入集合  $A$  中; 由式(3)判定为空闲链路, 将满足该条件的链路放入集合  $P$  中。

(5) 从重负荷链路集合  $A$  中取出  $k$  条, 如果  $k=0$ , 停止, 否则进行步骤(6)。

(6) 找出该链路的上游节点  $w$ , 从空闲集合  $P$  中找出  $w$  节点所在空闲的节点链路, 将数据包从该链路通过, 由剩余链路带宽值大的路径作为首选路径。

(7) 新路径被选用后, 计算其剩余链路带宽, 并将其归类放入相应集合(集合  $A$  或者集合  $P$ )。

(8) 如果  $k=0$ , 停止调用该算法, 否则继续查询重负荷链路, 对其分流, 进行步骤(4)。

## 2 算法仿真结果

### 2.1 网络模拟环境

为了便于分析 HLSMPRA 算法的性能, 笔者

采用了如图1所示的网络模拟模型。图中给出了各节点之间的连接关系, 指明了各个链路的带宽值和时延值, 本结构选定节点1为源节点, 节点9为目的节点。从源节点向目的节点发送数据包, 跟踪信息走向, 并与传统的 Dijkstra 算法进行比较。

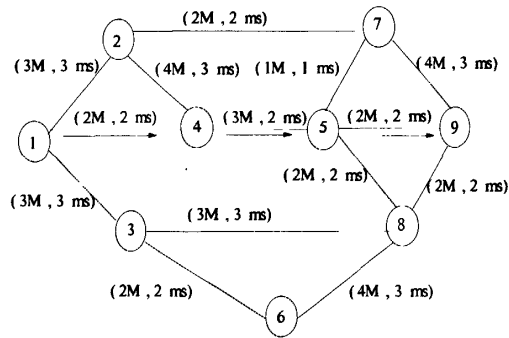


图1 网络模拟模型

Fig. 1 Model of analog network

首先, 调用 Dijkstra 算法, 数据流所走的路径为 (1, 4, 5, 9), 带宽 2Mbps, 时延 6ms, 跳数 3。同时, 也记录从源节点到目的节点的其他路径, 如表1所示, 比如路径 (1, 2, 7, 9)、(1, 3, 8, 9)、(1, 3, 6, 8, 9)、(1, 4, 5, 8, 9)。通过图1可以看出, 箭头所指向的链路是数据包首选的路径, 因此该路径容易发生拥塞。其次, 以时间  $T$  为周期, 定期查询各链路上的剩余带宽, 一旦出现或即将出现拥塞现象, 系统自动调用该算法, 修改其路由信息, 为其重新从备选的多路径集中分配新的路径。这些备选路径如表1, 表中给出的路径是按照路径跳数从优到劣的优先级排列。备选路径为该重负荷链路分流, 从而减小拥塞的可能性, 达到链路负载均衡。

### 2.2 模拟仿真结果

通过模拟仿真, 与 Dijkstra 算法对比, 并使用端到端的包吞吐量、丢失率、时延作为算法度量尺度, 比较各参数随包发送速率的变化。为便于观察结果, 本文仿真算法选择路径的数量分别为2条和3条, 首先以吞吐量为考察目标, 仿真结果如图2所示。由图2(a)可以看出, 当 path 为2时, 新算法的吞吐量从 100 Mbps 提高到 200 Mbps 左右, 大约是单路径吞吐量的两倍。由图2(b)可以看出, 当 path 为3时, 吞吐量大约是采用 Dijkstra 算法吞吐量的3倍。因此, 笔者提的 HLSMPRA 算法具有增加吞吐量、减小丢包率的优势。

表1 节点1到节点9所有可行性路径  
Tab.1 All feasible paths from Node 1 to Node 9

节点1至节点9的路径	带宽/Mbps	时延/ms	跳数
(1,4,5,9)	2	6	3
(1,2,7,9)	2	8	3
(1,3,8,9)	2	8	3
(1,4,5,8,9)	2	8	4
(1,3,6,8,9)	2	10	4
(1,3,8,5,9)	2	10	4
(1,2,7,5,9)	1	8	4
(1,3,6,8,5,9)	2	12	5
(1,2,4,5,7,9)	1	12	5

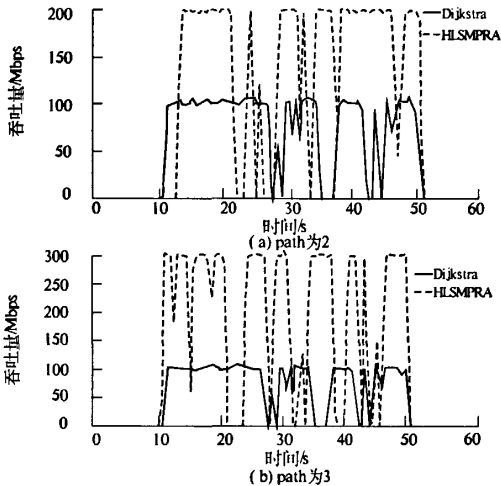


图2 吞吐量对比图

Fig.2 Throughput comparison (path = 3)

另外,通过从源节点1向目的节点9发送大量的数据包,统计跟踪数据.结果显示,当 path 值取1时,丢包率为13.6%;当 path 取值分别为2和3时,丢包率分别为3.8%和0.98%,可以看到新算法在降低丢包率方面发挥了重要作用. HLSMPRA 算法实质上就是一种特殊的单路径算法.

在仿真过程中,统计分析链路(1,9)链路上的数据包时延如图3所示.从图3中可以看出,当调用新的 HLSMPRA 算法能对数据包优化流量分配,并用多条路径来共同分担负载,从而使队列时延明显下降.

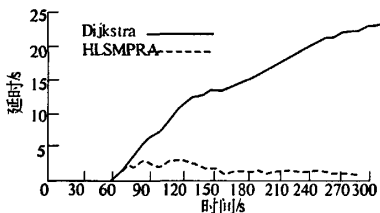


图3 延时对比图

Fig.3 Delay comparison

### 3 结束语

笔者在 Dijkstra 算法基础上提出了一种新的 HLSMPRA 算法,它是一种路由负载均衡算法,在一定程度上,可有效避免负载不均衡问题,减少拥塞现象的出现.通过对单路径算法的调整,并融合相关的选路机制,把各参数(如可用带宽、跳数、丢包率、吞吐量、时延等)考虑进去,实现更具灵活性的路由选择策略,从而为当前网络中热点链路负载过重提出了一种新的解决方法.从对比各参数仿真结果可以看出,笔者提出的算法具有良好的健壮性和负载平衡性.接下来的工作重点,将转向如何实现该算法在实际网络中的应用,以达到算法预计目标.

### 参考文献:

[1] 李臣波. 一种基于 Dijkstra 的最短路径算法[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2008, 13(1): 36-38.

[2] 王涛, 李伟生. 低代价最短路径树的快速算法[J]. 软件学报, 2004, 15(5): 660-665.

[3] NELAKUDITI S, ZHANG Z L. On selection of candidate paths for proportional routing [J]. Computer Networks, 2004, 44(1): 79-102.

[4] ZHANG L F, ZHAO Z H. Load balancing of multi-path source routing in wire-less ad hoc networks[C] // IEEE International Conference on Communications, ICCOZ, New York, DSA, 2002: 3197-3201.

[5] FORTZ B, THORUP B. Internet traffic engineering by optimizing OSPF weights[C] // Proceeding of the 19th Annual Joint conference of the IEEE computer and communication Societies. Tel-Aviv, Israel, 2000, 2: 519-528.

[6] WANG L, ZHANG L F. Multi-path source routing in wireless ad hoc networks[J]. Electrical and Computer Engineering, 2000, 30(2): 479-483.

[7] MARINA M K, DAS S R. On-demand multi-path distance vector routing for ad hoc networks[C] // Proceedings of 2001 IEEE Washington DC: IEEE computer Society, International Conference for Network Protocols (ICNP), 2001: 14-23.

[8] IWATA A, CHIANG C, PEI G Y, et al. Scalable routing strategies for ad hoc wireless networks[J]. IEEE J Selected Areas in Communication, 1999, 17(8): 1369-1379.

[9] CHEN Y, HU A Q. The way of finding key nodes in communication [J]. High Technology Letters, 2004, 14(1): 573-575.

(下转第110页)

- [4] 黄华娟,周永权. 求解全局优化问题的混合人工鱼群算法[J]. 计算机应用, 2008, 28(12): 3062 - 3065.
- [5] CHEN C H, LIU Y C, LIN C J, et al. A hybrid of cooperative particle swarm optimization and cultural algorithm for neural fuzzy networks[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part C, 2009, 39(1): 238 - 245.
- [6] REYNOLDS R G. An introduction to cultural algorithm[C]//Proceedings of the 3rd Annual Conference on Evolutionary Programming, California. Washington: IEEE Press, 1994: 131 - 139.
- [7] 张梅凤,邵诚,甘勇,等. 基于变异算子与模拟退火混合的人工鱼群优化算法[J]. 电子学报, 2006, 34(8): 1381 - 1385.
- [8] 谢祥云. 序种群引论[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 314 - 316.
- [9] LUMSDEN C J, WILSON E O. Genes, Mind and Culture[M]. Cambridge: Harvard University Press, 1981: 208 - 209.

## Cultural Algorithm based on Artificial Fish for Global Optimization

CHAI Yu - mei<sup>1</sup>, CHEN Yang<sup>1</sup>, SU Jin<sup>2</sup>, MING Qi<sup>1</sup>

(1. School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. School of Information Management, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** Aiming at the shortcomings of artificial fish algorithm and the traditional framework of cultural algorithm, we propose a Cultural Algorithm based on Artificial Fish (AF - CA). Firstly artificial fish jumps for global search in this algorithm. When the search process is slow or in stagnant state, we employ gaussian mutation operator on the optimal value. Experimental results show that the algorithm is superior to basic AFSA and similar algorithms in quality and efficiency.

**Key words:** cultural algorithm; artificial fish swarm algorithm; local search; global optimization

(上接第 105 页)

- [10] 金焯,马小骏,樊隽. NS 仿真器中多路径路由选择机制的实现及仿真研究[J]. 计算机应用, 2002, 22(10): 64 - 66.
- [11] 何伟,薛素静,孔梦荣. 一种实用的 P2P 文件共享系统访问控制框架[J]. 郑州大学学报:工学版, 2006, 27(3): 93 - 97.
- [12] 郭磊,王斌强,陈庶樵. 一种面向关键节点的多路径路由算[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(26): 119 - 121.

## Multi - paths Routing Algorithm based on Hotlinks

SONG Jia - you<sup>1</sup>, ZHAO Dan - dan<sup>1,2</sup>, CHENG Dong - nian<sup>2</sup>, SU Jin<sup>3</sup>, MENG Hai - cheng<sup>1</sup>

(1. School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. National Digital Switching System Engineering & Technological Search Center, Zhengzhou 450002, China; 3. School of Information Management, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** A new multi - paths routing algorithm has been proposed, which solves the problem of congestion caused by overload of links and provides a better environment compared with the traditional technology. This method will call the routing mechanism when the links appear overloads, and transmit the data by changing to another path or sending it in parallel. Simulation results show that the algorithm can improve the throughput, decrease the packet loss ratio, and achieve a new network load balance finally.

**Key words:** hot links; multi - path; route; congestion control