

## 关于无穷计算问题的水平分裂算法分析及改进

郭招球, 高敬欣, 赵跃龙

(中南大学 信息科学与工程学院, 湖南 长沙 410083)

**摘 要:**首先介绍了用于路由选择的 DVR(距离矢量路由)算法及其存在的无穷计算问题。然后阐述了用于解决该问题的水平分裂算法的思想,并运用 MST(最小生成树)分析法对其进行了基于树型、环型和网状 3 种网络拓扑结构的算法分析。最后提出了一种改进的水平分裂算法——下一跳算法,并在实例分析的基础上对其存在的问题进行了总结。

**关键词:**距离矢量路由算法;无穷计算;水平分裂;最小生成树分析;下一跳算法

**中图分类号:**TP301.6

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3751(2006)02-0151-03

Analysis and Improvement of Split Horizon Algorithm  
on Count-to-infinity Problem

GUO Zhao-qiu, GAO Jing-xin, ZHAO Yue-long

(School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** The distance vector routing (DVR) algorithm for routing choice and count-to-infinity problem in itself is introduced first. Then the idea of split horizon algorithm that is used to settle this problem is stated, and this algorithm is analyzed with minimum spanning tree (MST) method, based on tree, ring and net topologies. Finally, an improved split horizon algorithm, the next-hop algorithm is proposed, and the existent problem is summarized on the basis of instance analysis.

**Key words:** DVR algorithm; count-to-infinity; split horizon; MST analysis; next-hop algorithm

## 0 引言

路由选择算法是 TCP/IP 协议的网络层建立和维护路由表必不可少的,即使因设备或线路故障以及新网段的增加等引起网络的拓扑结构发生变化,它也应能保证路由表的准确。根据数据包转发路径确定方法的不同,路由选择算法大致分为两种:距离矢量路由算法和链路状态路由算法。文中针对传统的距离矢量路由算法及其存在的无穷计算问题进行了一般的阐述,并就解决这一问题的水平分裂算法作了深入的分析。在此基础上,根据“在路由交换信息中加入下一跳信息”的思想,提出一种更有效的改进算法——下一跳算法,较好地避免了奇数结点“路由环”(奇点环)的产生。

## 1 问题描述

## 1.1 DVR 算法

DVR(Distance Vector Routing)算法,即距离矢量路由算法。它是基于 Bellman-Ford 简单最短路径的一种动态

分布式路由选择算法,最早应用于 ARPANET 网的路由选择中,名为 RIP(路由信息协议)。在该算法中,距离被定义为到目的结点所经过的路由器数目,也称为跳数。假定用距离作为度量标准,根据该算法的思想,路由器在收到邻接结点的路由广播信息将按如下方法来更新自己的路由表:在邻居结点  $X$  广播来的路由表中,  $X_i$  表示  $X$  到路由器  $i$  的距离。如果路由器到  $X$  的距离为  $m$ ,则它经  $X$  到  $i$  的距离为  $X_i + m$ 。根据不同邻接结点广播来的路由信息进行这种计算,取计算结果最小值作为新的距离,相应结点为下一跳,以更新路由表<sup>[1]</sup>。

## 1.2 无穷计算问题

DVR 算法的优点是路由器间信息交换量少(仅由目的结点和距离两部分组成,不包含下一跳信息),策略简单(根据上文中给出的算法更新路由表,计算时不考虑原有的路由信息,故对好消息反应迅速,路由器资源占用率低)。缺点是在网络拓扑发生变化时,对坏消息的反应较慢,即导致无穷计算(Count-to-infinity)问题。

如图 1(a)所示,好消息是这样传播的:初始时路由器 A 不在网络上,将其距离设为无穷大。当它上网后,邻接结点 B 通过一次矢量交换即得知 A 的信息。在下一跳交换中, C 知道 B 有一条到 A 距离为 1 的路径,于是它将自己到 A 的距离记为 2,下一跳记为 B。如此进行下去,在  $N$  个结点的子网中,至多  $N$  次交换后所有路由器都知道

收稿日期:2005-05-07

作者简介:郭招球(1982—),男,江西湖口人,硕士研究生,主要从事网络通信技术及网络硬件系统设计方面的研究;赵跃龙,教授,博士生导师,主要从事计算机网络与通信、计算机体系结构和网络存储等方面的研究。

了新网段 A 的信息。相比之下,坏消息的传播就不那么快了:如图 1(b)所示,结点 B、C、D 和 E 到 A 的初始距离分别为 1、2、3 和 4。突然,A 下网了。此时 B 无法从 A 处得到任何信息,但发现通过结点 C 有一条到 A 距离为 2 的路径,便认为通过 C 可以到 A,距离为 3。第二次交换时,C 发现 B 有一条到 A 距离为 3 的路径,于是将自己到 A 的距离设为 4。以后每次交换,所有路由器到 A 的距离缓慢趋于无穷大(RIP 中设为 16),从而导致“慢收敛”的无穷计算问题<sup>[2]</sup>。

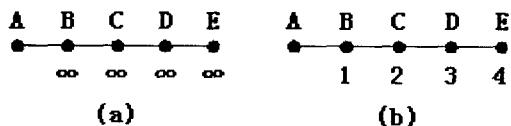


图 1 无穷计算问题示意图

## 2 水平分裂算法分析

### 2.1 算法基本思想

如上文所述,DVR 算法虽然有很多优点,但很容易产生路由环(Routing Loop),从而路由信息被循环传递,需要经过很长的时间才能传遍整个网络。为了加快该算法在无穷计算问题上的收敛速度,RIP 协议采用了如下 4 个机制<sup>[3]</sup>:水平分裂(Split Horizon)、毒性逆转(Poison Reverse)、触发更新(Trigger Update)和抑制计时(Hold-down Timer)。下面用水平分裂算法(结合毒性逆转)来分析图 1(b)的网络拓扑。

假定 A 下网了,第一次交换时,B 发现到 A 的直达路径没有了,而 C 也报告说到 A 的距离为无穷大,于是 B 将自己到 A 的距离设为无穷大。第二次交换时,C 发现从它的两个邻居结点 B、D 都不能到达 A,于是它将 A 标为不可达。同理,D、E 也将 A 标为不可达。这样,坏消息以每次一个结点的速度传播,避免了无穷计算的问题。但是,水平分裂算法也有失效的时候。如图 2 所示,假设线路 CD 突然断开,根据水平分裂算法,A、B 到 D 的距离最终将缓慢增至无穷大,从而水平分裂算法失效<sup>[1]</sup>。

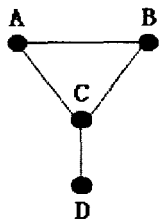


图 2 水平分裂算法失效实例

### 2.2 最小生成树分析法

上述分析表明,水平分裂算法能有效地避免相邻两路由器间形成的路由环,但对于复杂的网络拓扑它仍可能失效。针对水平分裂算法失效的可能性,下面给出一种比较便利的分析方法——最小生成树(MST, Minimum Spanning Tree)分析法。

MST 分析法的核心思想是:以下网的结点为树的根,

利用 Kruskal 算法从该结点下网前所在的子网(相当于一个无向连通图)中构造出相应的虚拟 MST。其中,DVR 算法中的最短距离保证了这棵树总的代价最小。对于复杂的网络拓扑结构,先利用该算法构造出子网的 MST。显然,根据水平分裂算法,根结点下网的消息将以每次一个树深的速度向下传递。然后再分别将子网中其余的边加到该树中,并逐一加以分析(分析时这些边互不影响)。

### 2.3 基于网络拓扑结构的算法分析

一般而言,常见的网络可分为 5 种,即星型网、总线网、树型网、环型网和网状网。这 5 种网络的拓扑经 DFS (Depth First Search, 深度优先遍历)算法判定后,根据是否存在环及其个数可划分为以下 3 种结构:

\* 树型结构,没有环,包括星型网、总线网和树型网 3 种;

\* 环型结构,只有一个环,即环型网;

\* 网状结构,存在多个环,即网状网。

该判定算法如下:

(1)TRN(v) \ Tree-Ring-Net, 树型、环型和网状 3 种拓扑结构的判定算法。

a. for  $v=1$  to  $n$  do

color[v] = white; num = 0; dad[v] = 0; \ “num”表示拓扑结构中圈的个数

b. for  $v=1$  to  $n$  do

if color[v] = white then DFS(v); \ 调用 DFS 算法

c. if num = 0 then return(‘Tree Topology’); \ 树型结构

else if num = 1 then return(‘Ring Topology’); \ 环型结构

else return(‘Net Topology’); \ 网状结构

(2)DFS(v) \ 用于“TRN”调用的 DFS 算法

a. color[v] = gray;

b. for each edge[v, w] do

if color[w] = white then {dad[w] = v; DFS(w);}

else if color[w] = gray && dad[v] ≠ w then num ++; \ 找到一个圈,num 加 1

c. color[w] = black;

利用上文节描述的 MST 分析法,文中就以上 3 种网络拓扑结构对水平分裂算法的有效性做如下分析:

1)树型结构。显然,由对图 1(b)的分析可知,DVR 算法在这种拓扑结构中不能避免无穷计算,而上文相应的分析表明水平分裂算法能够很好地解决这个问题。

2)环型结构。就环型网而言,下网可分为下线 and 断网两种情形:下线指的是主机本身脱离网络,而断网是指与主机相连的若干条线路发生故障。对于断网的情况,DVR 算法可以解决无穷计算问题,但当规模增大后收敛时间较长,而水平分裂算法可以快速重组网络,使它构成一个总线网;下线相当于两条相邻线路发生故障时的断网情况。

3)网状结构。一般而言,网状拓扑结构可分为奇(数)点环、偶(数)点环和两者的混合结构 3 种。显然,对于这种拓扑结构,DVR 算法是不能解决无穷计算问题的,而水

水平分裂算法虽仍无法克服类似图2中存在的奇点环问题,但对于偶点环上的无穷计算问题则可完全解决。如图3所示,假设线路AB突然断开(相当于结点A下线)。根据水平分裂算法,B在第一次交换后将自己标为到A不可达,并告诉C和D。同样,第二次交换后C和D也知道了A不可达。第三次交换后,所有结点都将A标为不可达。这样,A断网的消息以每次一个树深的速度向下传递到所有的叶结点,避免了偶点环BCED上的无穷计算问题<sup>[4]</sup>。

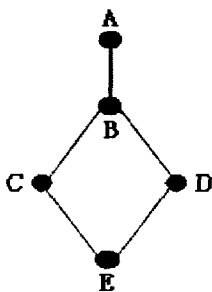


图3 偶点环的水平分裂算法分析

### 3 一种改进的水平分裂算法——下一跳算法

#### 3.1 基本思想

为了解决上述奇点环上的无穷计算问题,在水平分裂算法的基础上,提出了一种新的改进算法——“下一跳”算法。

下一跳算法思想很简单:每个路由器在原有的两列路由交换信息上增加一列“下一跳”信息(Next hop),即通往目的地的下一个结点,并在返回自己从邻结点获得的路由信息时将距离设为无穷大。例如,假定路由器A到路由器R的距离为X,下一跳为结点B,则A中相应的路由交换信息格式如表1所示。

表1 下一跳算法路由交换信息格式

目的地	距离	下一跳
R	X	B

路由广播表增加下一跳信息后,路由器便可根据这列信息做出相应的决策。如上所述,路由器B收到结点A广播的信息,发现A到路由器R有一条距离为X的路径,但下一跳为自己,于是它将A,R的距离视为无穷大,这就避免了A,B两结点间路由环的产生。

#### 3.2 实例分析

对于图2中的奇点环问题,采用上述改进算法可作如下分析:当线路CD突然断开时,C从D得不到任何消息。根据下一跳算法蕴含的水平分裂思想,C知道自己到D不可达,并告知A和B。与C交换信息后,A发现B有一条经C到D距离为2的路,B也一样,于是都认为经对方有

一条到D距离为3的路径。下次交换时,A发现B的路由交换信息中下一跳是自己,于是它将B到D的距离视为无穷大,现在从B和C都无法到达D,于是A将自己标为到D不可达。同理B也将自己标为到D不可达,这样便克服了水平分裂算法无法解决的奇点环上的无穷计算问题。

#### 3.3 存在的问题

下一跳算法通过在传统水平分裂算法的基础上增加一列信息,较好地避免了奇点环和偶点环上的无穷计算问题,但对于两者的混合乃至更复杂的拓扑结构还不能加以有效地解决。由于到目标结点路径上的各结点获得的路由交换信息受到了邻接结点个数的限制,该算法仍无法完全摆脱无穷计算问题的困扰<sup>[5]</sup>。另外,该算法要求向所有的邻接结点多广播一列路由交换信息,因而路由器的计算复杂程度也相应增加。与DVR算法和传统水平分裂算法相比,下一跳算法需要消耗更多的网络和路由器资源。

### 4 结束语

综上所述,无穷计算问题的核心是如何发现并避免路由环。加快收敛速度的水平分裂算法虽不能完全避免路由环,但在实际应用中RIP的“无穷大”通常设为16,因而即使出现了无穷计算问题,收敛速度还是可以接受的。文中在对原有的水平分裂算法进行MST分析的基础上,提出了改进后的下一跳算法,它的思想和实现简单,能较好地解决奇点环和偶点环上的无穷计算问题,但对于更复杂的网络拓扑结构效果仍不够理想。当然,改进算法本身也存在一些问题:如因增加了一列信息而带来新的网络流量,以及因检查下一跳信息而增加路由器的计算开销等。这些都需要在进一步的研究中提出更好的路由选择算法来解决。

#### 参考文献:

- [1] Tanenbaum A S. 计算机网络(第3版)[M]. 熊桂喜,王小虎等译. 北京:清华大学出版社,1998.
- [2] Schmid A, Strenger C. Avoiding counting to infinity in distance vector routing[J]. Telecommunication Systems - Modeling, Analysis, Design and Management, 2002, 19(3): 497-514.
- [3] Hendrick C. Routing Information Protocol[R][s. l.]: IETF Network Working Group, 1988.
- [4] Bellman R. On a Routing Problem[M]. Virginia: William Byrd Press, 1958.
- [5] 苏传蓉. 几种常见路由协议的应用[J]. 湖北邮电技术, 2002, 9(3): 48-50.

(上接第150页)

- [4] 向德生,熊岳山. 基于约瑟夫遍历的图像置乱算法[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(10): 44-46.
- [5] 李国富. 基于正交拉丁方的数字图像置乱方法[J]. 北方工

业大学学报, 2001, 13(11): 123-125.

- [6] 赵学峰. 基于面包师变换的数字图像置乱[J]. 西北师范大学学报, 2003, 39(2): 26-29.