

基于主干树的最小代价组播路由算法*

The Minimum Cost Multicast Routing Algorithm Based on Main Frame Tree

刘文彬, 李陶深

Liu Wenbin, Li Taoshen

(广西大学计算机与电子信息学院, 广西南宁 530004)

(Coll. of Comp. & Elec. Info., Guangxi Univ., Nanning, Guangxi, 530004, China)

摘要: 提出基于主干树的最小代价组播路由算法, 该算法首先在网络中找出 K 个代价最小的结点, 然后以这 K 个结点形成一棵树, 并称这棵为主干树, 然后将不在主干树上的成员结点加入到树上, 最后剪去非成员的叶结点。该算法的时间复杂度 $O(n^3)$ 。该算法所构造的组播树代价略低于 MPH 算法和 KMB 算法。

关键词: 最小代价组播树 组播路由 主干树 服务质量

中图法分类号: TP393

Abstract: The minimum cost multicast routing algorithm based main frame tree is presented. The steps of the algorithm are, to find the K nodes with minimum cost in the network firstly, and make a trunk using these nodes; the member nodes which are not in the trunk are put in the trunk, and finally, the non-member nodes (leaves nodes) in the trunk are deleted. The time consumption of the algorithm is $O(n^3)$. The multicast tree cost of the algorithm is a bit less than those of algorithms of KMB and MPH.

Key word: minimum cost multicast tree, multicast routing, main frame tree, service quality

高速信息网络是未来网络的发展方向, 它可以用于传输声音、图像、数据等业务, 每种业务的服务质量(Quality of Serve, 简称 QoS)都是不同的。QoS 对用户来说, 是业务的质量要求, 而对网络来说, QoS 最终体现为网络性能。QoS 参数有延迟、延迟抖动、丢失率等现象。多媒体网络中要求网络能够提供 QoS 保证, 在这种网络体系中的路由问题是有 QoS 约束的路由问题。同时通信网络的迅速发展和新业务的不断出现, 使组播技术成为网络必须支持的功能。虽然可以使用一对一的通信方式来支持组播通信, 但是这种方式存在两方面的不足: 一方面, 发送者需要将数据包做成多个拷贝, 然后再分别发送给各个不同地接收者, 这样极大浪费了网络资源; 另一方面, 对于实时的组播业务来说, 使用一对一的通信方式不能达成时间的同步关系。因此, 必须考虑具有 QoS 约束的组播路由问题。

最近, 人们提出许多解决组播路由问题的算法,

它们都能在一定程度上解决某个或几个具有 QoS 的问题, 如 MPH 算法^[1], KMB 算法^[2]解决最小代价问题, 稍做修改也可满足时延问题。这些算法虽然能构造一棵最小代价的组播路由树, 但是由于每次添加成员时都需要将最短路径连到树上, 因此有可能把那些非最短路径, 或者与最短路径的代价相同而搜索次序在后的路径漏掉, 而这些路径有可能实现更多的链路共享, 从而降低整棵树的代价。此外, 它们也不能准确地处理成员的动态变化。针对这种情况, 本文提出一种基于主干树的组播路由算法, 有效地解决上述所存在的问题, 同时该算法也能应用于分布式环境中, 减少由于控制信息所带来的流量负载。

1 网络模型及问题

计算机网络模型一般可以用一个赋权图 $G = (V, E)$ 来表示, 其中 V 表示网络中的所有终端结点(或路由器)的集合, E 表示任意两相邻结点 x, y 之间通信链路 (x, y) 的集合。对于任何 $(x, y) \in E$, 都可用非负实数加权值 $C(x, y)$ 表示链路 (x, y) 上的代价。

2003-12-25 收稿, 2004-04-01 修回。

* 广西“新世纪十百千人才工程”专项资金(桂人字 2001213 号)和广西教育厅科技项目(桂教科研[2001]401 号)联合资助。

组播路由问题就是在图 G 中寻找一棵包含组播源及所有接收结点的代价最小的组播生成树。用形式化语言描述如下:

已知:赋权图 $G = (V, E)$, 组播源集 $S \subseteq V$, 目的结点集 $M \subseteq V$, 待求组播生成树 $T = (V_T, E_T)$, $T \subseteq G, V_T = (SYM), V_T \subseteq V, E_T \subseteq E$, 并使所生成的组播树的代价达到最小, 即:

$$\text{Cost}(T) = \text{Min}(\sum_{(i,j) \in E_T} \text{Cost}(i,j)).$$

2 基于主干树的最小代价组播路由算法

2.1 定义和术语

为了描述方便, 本文引入如下的定义和术语:

$P(v, u)$: 表示在图 G 中从结点 v 到结点 u 的最短路径(即最小代价)。

结点的总代价 $SUN(v)$: 顶点 v 到所有成员结点 M 之间的最短路径的代价的总和, 即:

$$SUN(v) = \sum P(v, u), \forall u, v \in M, v \in V, u \neq v.$$

组播树的总代价: 在组播路由计算过程中, 由于组播机制自身的特点, 其数据包只在分叉结点处进行复制, 而在公用路径上能够做到资源共享, 因此组播树的总代价应为所构造的组播树的所有边的代价的总和, 而不是数据源到所有目标结点代价的总和。

2.2 算法描述

仔细分析网络中端到端的最短路径, 可以发现网络中有些结点到目标结点的总代价最小, 而有些结点的总代价很大, 这里把网络中总代价最小的结点叫做关键结点。在 MPH 算法或 KMB 算法中, 如果能够在一定条件下优先采用包含关键结点的路径, 则有可能后面的组播成结点到树上的最短路径也经过这些关键结点, 由此实现更多链路的共享, 这样的路径从当前来看不一定是最佳的, 但由于它能实现共享, 因而可以降低整棵树的费用。相反, 若前面的路径一定要采用不包含关键结点的最短路径, 后面的组播结点在连接时的最短路径只能通过其它的结点, 无法共享某些链路, 使得整棵树的代价反而较高。

基于以上的思想, 本文提出基于主干树的最小代价组播路由算法, 简称为 MCMRA 算法。本算法的主要思想是首先在网络中找出 K 个代价最小的结点, 然后以这 K 个结点形成一棵树, 并称这棵为主干树, 然后将不在主干树上的成员结点加入到树上, 最后剪去非成员的叶结点。对于给定一个无向赋

权图 $G = (V, E)$, 目的(成员)结点集 M 。

MCMRA 算法的基本步骤如下:

步骤 1: 用 Floyd 算法^[5] 求出每对顶点之间的最短路径。

步骤 2: 计算每个顶点 v 的最小总代价。

步骤 3: 构造一棵主干树。

(1) 从图 G 中选出最小总代价的值最小的若干个结点, 然后在图 G 内为这 K 个结点构造一个完全图 G' , 其中完全图 G' 中的顶点为这 K 个结点, 边为这 K 个结点之间的最小代价;

(2) 对于图 G' , 用 PRIM 算法^[5] 构造一棵最小生成树 Tspanning, 并将该树在图内进行扩展, 即将最短路径用原来的路径进行代替, 从而形成一棵树(称为主干树 Trunk)。

步骤 4: 将不在主干树上的成员结点加入到主干树上。

步骤 5: 从树上剪去非成员结点的叶结点。

最后就形成了所求的组播树。

3 算法的复杂度分析和仿真实验

3.1 算法的时间复杂度分析

假设图 G 的结点数为 n , 则该算法的第一步采用 Bellman-Ford 算法^[5], 时间复杂度是 $O(n^3)$, 算法的步骤 2 的时间复杂度是 $O(n^2)$, 算法的步骤 3 的时间复杂度是 $O(n^2)$, 算法的步骤 4 和 5 的时间复杂度分别是 $O(n^2)$ 。因此, 算法的时间复杂度是 $O(n^3)$ 。

3.2 仿真实验

仿真实验是在由 Waxman 设计的、经过 Salama 修改的随机网络模型^[3,4] 中进行。对于每一种规模的网络, 其结点数在 20~100 之间变化, 对于一定大小的网络规模产生 100 个随机网络, 每个网络中进行 10 次试验, 每次试验随机地选择有 m 个成员的组播组进行仿真, 因此, 每一个仿真数据对应 1000 个试验数据, 链路的代价与结点之间的距离成正比。各个结点的度在 3~5 之间变化。

表 1~表 4 分别给出组成员不同时, 在仿真实验中 KMB 算法、MPH 算法和 MCMRA 算法产生的组播树的代价和网络结点数之间的关系。可以看出, 在大多数情况下, 基于主干树的最小代价组播路由算法由于优先考虑具有总代价最小的结点, 使得有更可能多的最短路径共享这些结点及相邻的链路, 从而降低了组播树的代价, 所得的组播树的代价比 KMB 算法和 MPH 算法要小。

表1 网络结点数 $n=20\sim 100$, 组成员= $0.3n$ 时组播树的代
价比较

	20	40	60	80	100
KMB	21.820	38.165	67.194	80.333	92.698
MPH	21.701	37.310	65.696	78.650	91.780
MRMCA	21.566	38.293	64.363	81.949	86.242

表2 网络结点数 $n=20\sim 100$, 组成员= $0.4n$ 时组播树的代
价比较

	20	40	60	80	100
KMB	21.413	49.338	87.444	85.548	128.357
MPH	21.337	48.303	86.095	84.614	125.988
MRMCA	20.758	48.197	85.438	83.000	125.823

表3 网络结点数 $n=20\sim 100$, 组成员= $0.5n$ 时组播树的代
价比较

	20	40	60	80	100
KMB	28.015	64.918	84.406	113.517	128.732
MPH	27.492	64.890	83.353	112.664	127.896
MRMCA	27.622	63.948	90.026	112.666	123.555

表4 网络结点数 $n=20\sim 100$, 组成员= $0.6n$ 时组播树的代
价比较

	20	40	60	80	100
KMB	33.812	72.399	82.623	115.213	159.107
MPH	33.560	72.233	82.305	114.837	158.270
MRMCA	32.384	77.045	81.781	114.101	159.242

3.3 算法的特点分析

(1)将目的结点与源结点同样对待,即从目的结点再向其它结点进行信息传递时,将此目的结点看成是一个新的“源结点”,不再考虑源结点到此目的结点的已有代价,这样做是考虑到在组播通信中,从目的结点再向其它结点进行信息传递时,从源结点到目的结点的代价是必须的,为此无须再进行累加这一代价,这样做能够使组播树的代价较小;

(2)建立主干树后,网上其它的成员结点就可共享这棵树,而不必花费额外的时间去再构造主干树,这由于在整个网络的拓补结构不发生变化时,主干树上的结点到成员结点的最小总代价最小;

(3)在执行过程中只利用了局部信息,并且结点所需进行的运算简单.因为在确定路由过程中,每个结点只需与其相邻的结点进行必要的信息传递,并进行权值的调整,而不需知道整个网络的信息;

(4)允许成员动态地变化,如有成员在加入时,它只要以最短路径(或最小代价)加入到主干树上即可。

4 结束语

本文提出基于主干树的最小代价组播路由算法,它主要是在一定条件下优先采用具有总代价最小的结点,使得有尽可能多的最短路径共享这些结点及相邻的链路,从而降低组播树的代价.同时,它能够进行很好地处理成员动态的变化.仿真结果表明,该算法所构造的组播树代价略低于 MPH 算法和 KMB 算法。

参考文献:

- 1 Pawel Winter. Steiner problem in networks: a survey. IEEE Network, 1987, 3: 129~167.
- 2 Kon L, Markowsky G, Berman L. A fast algorithm for Steiner trees. Acta Informatica Pages, 1981, 141~145.
- 3 Waxman B. Routing of multipoint connections. IEEE Journal on Selected Area in Communications, 1988, 6(6): 1617~1622.
- 4 Salama H. Multicast routing for real-time communication on high-speed network. North Carolina: North Carolina State University, 1996.
- 5 Bruno R Rreiss[美]. 数据结构与算法一面向对象的 C++ 设计模式. 胡广斌, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2000.

(责任编辑:黎贞崇)

细菌的抗药性和持久性

两项新研究发现,细菌逃避抗生素的能力比过去知道的要高明. Christine Miller 和合作者找到了细菌抵抗盘尼西林和其他 beta 内酰胺抗生素的新机制. 这类药减弱细菌修建细胞壁的能力,但是作者发现,药物也能引发一个被称为 SOS 反应的信号级联放大. 这个反应停止了细菌的细胞分裂,使它们得以逃避抗生素的短期作用. 作者提出,以 SOS 反应为靶标的药物也许能增强 beta 内酰胺的药性。

在另一项研究中, Nathalie Balaban 和同事探索了细菌的持久性. 一些细菌能逃避抗生素的作用存活下来,但是它们的后代对抗生素仍敏感,人们对这一现象了解甚微. 作者们用微流体设备跟踪了暴露于抗生素的生物个体. 一小部分具有持久性的细胞生长极慢,使它们躲避了抗生素. 这些细胞在接触抗生素之前就慢速生长,但它们也能够转变到正常状态. 作者说,这些发现对治疗结核病菌和囊性纤维化中的铜绿假单胞菌等也许有用。

据《科学时报》