

一种面向大规模网络的拓扑设计算法

吴桦 丁伟

东南大学计算机系 南京 210096

摘要： 本文首先介绍了当前形势下计算机网络拓扑设计的研究要点及设计过程。随后结合当前网络设计中的特点，在分析和改进一些经典的拓扑设计算法的基础上，提出了一个面向大规模网络拓扑设计的具体实现方法。该方法由以子网划分为目的节点分类算法和子网内的连接设计算法两部分构成。

关键词： 计算机网络、拓扑设计、算法

1、引言

网络拓扑设计是计算机网络设计的基础和起点，重要性是显而易见的。在任何情况下，网络拓扑设计都是以尽可能地降低费用、延时，提高链路利用率，同时兼顾可靠性、安全性为基本原则来安排网络节点间的连接，并以此为基础来形成网络的拓扑。

实际上，网络拓扑设计并不是一个十分新鲜的研究方向，早在七十年代计算机网络产生初期就已有大量的拓扑设计算法出现。在使用这些算法的进行网络拓扑设计时，一般都是根据前次划分结果进行反复改进，逐步接近最佳结果。如果接入节点过多，算法的时间复杂性将以指数级的速率递增。

在目前形势下，对网络拓扑设计的研究可以从三个方面考虑，其一是如何利用 CAD 的思想和方法，在图形界面和数据库的支持下，为用户提供更加方便和直观的拓扑构成手段；其二是如何改进原有的算法，使其能

够完成入网节点数较大情况下的拓扑设计工作；最后一点是如何利用仿真技术，有针对性地设计好的拓扑进行性能分析。这三点应该是相辅相成的，一个完整的网络拓扑设计系统应该同时具有这三方面的功能。本文将主要讨论其中的第二点，即大规模网络的拓扑设计方法。

我们认为，在入网节点数目较大的情况下，比较可行的方法是：先对入网节点进行分类，以此构成初始划分并形成若干个子网；在此基础上可以先设计各子网内部的连接，然后再将每个子网看作一个节点，构造总体的主干拓扑。这样，网络拓扑设计工作可分成三个部分进行：

- 1) 对入网节点进行分类，划分子网；
- 2) 子网内各节点的连接设计；
- 3) 子网间的连接设计，即主干网拓扑设计。

由于其中主干网的拓扑设计是在一个相对较少的节点数目上进行的，它可以采用一些传统的经典算法，如最小割集算法等，来完成，因此本文将着重讨论前两部分，并给出一种具体的实现方法。

2、入网节点分类（子网划分）

进行子网划分时要考虑的主要是流量、费用、距离等因素。在目前的条件下，距离对延时的影响非常之小，可以忽略不计；费用取决于通信线路的租金。实际上，距离因素的影响已间接地隐含在费用和流量两个因素中了。

为此，在这里我们通过改进著名的 Dysart 和 Georganas 集中器设计算法，根据节点间的费用选择子网

中心节点（即集中器），同时完成子网的划分。具体步骤如下（设节点总数为N，需要划分的子网数为n），

算法 1:

1. 给各个节点编号并分别列出与它们连接费用最少的k个节点，并构成各节点的邻接表。k是一个设计参数；
2. 确定每一节点在步骤1的节点邻近表中出现的次数；
3. 设F为节点出现的最高频率，将所有的节点按出现频率p划分，列成表S(p)，p=1、2、...、F。表S(p)中是出现频率为p的节点的集合；

4. 求加权平均值加1 $kM = \left(\sum_{p=1}^F \frac{px(p)}{N} \right) + 1$ 其中

$$\sum_{p=1}^F x(p) = N, x(p) \text{ 是表 } S(p) \text{ 中的节点数目, 即 } x(p) = |S(p)| ;$$

5. 首先选择表S(F)中列出的节点为子网中心节点，如果|S(F)|<n，再依次选择KM<p<F的表S(p)内的各个节点作为子网中心节点，直至达到预定的子网数——n。可以通过调整K值来使这个选择过程更加精确（越大越精确）；
6. 将各节点连到最接近的中心节点上；
7. 根据一些限制条件对初始划分进行调整。

以上算法考虑的是费用最低的情况，用尽可能低的费用将各个终端连接到终端集中器上。

显然，仅考虑费用因素，而忽略流量因素是不合理的。为了同时兼顾这两个因素，可以考虑将该算法中的费用换成由费用、流量折合成的一个权值。因为对于任一连接，如果其费用越小，流量越大，则其存在的必要性越大，所以用“费用/流量”作为权值是可接受的。用这个权值取代上述算法中的费用参数，也同样可以得到子网划分结果。

进一步而言，将费用与流量置于同等的重要性来考虑的做法同样具有一定的局限性。这是因为：其一，人们对于费用的关注一般是高于对流量的关注的，费用要求尽可能地小，而流量只要不是非常接近线路容量，甚至超过线路容量，一般来说都是可忍受的。其二，如用“费用/流量”作为权值，对于费用与流量都大，以及费用与流量都小的这两种情况，将处于同等的地位。这又会导致不合理的设计结果。

为此，比较合理的子网划分的算法，应该是优先考虑费用，尽量利用费用低的线路，然后再根据流量参数对其进行调整，使各个子网内的流量均衡，各条线路的流量小于容量。即用费用作为主要的划分依据，用流量作为次要的调整依据。

3、子网内的连接构造

对于子网内各终端与终端集中器的连接，要考虑的有可靠性、容量、费用等因素。设计的目的是在容量限制条件下，得到费用最低的连接。

最简单的是星形连接，此时没有超过容量的可能，但是这样连接的费用是所有算法中最不经济的，更主要的是在每一子网内各终端之间的网内通讯都必须通过子网中心节点，这会大大增加该节点的负担，因此显然星形连接不是最好的方法。

在这类算法中，比较经典的是 Chandy-Russell 算法，该算法将可能的连接方案（或可行的解答）的整个组分割为愈来愈小的子组，经常检验并观察对这些子组所连接的最小生成树是否已达到下限的范围，达到下限时就停止计算。它能获得最优解，但计算量很大。

此外，一些试凑算法能够提供次佳答案，它们和最佳答案很接近，但可以节省大量的计算时间。

在本文所讨论的背景下，如果采用上述这些算法完成子网内的连接，则在实际中会有一些偏差。因为在子网划分时，是以费用作为主要划分依据，那么，经过子网划分以后，子网之间的费用差别不会很大，而流量对网的性能有很大影响，在这种情况下如果使用这些算法完成子网间的划分，则应该把流量作为主要因素，而非次要因素来考虑。

4、一种广域网拓扑设计算法

下面根据以上的讨论，提出一种适用于大规模广域网的拓扑设计算法。该算法分为子网设计和子网内的连接设计两部分，具体步骤步骤如下：

一、子网设计主要完成子网的划分。

1. 在限制子网内最大网内流量的条件下，以费用为参数，用上述算法一的1—6步，完成初始划分，并确定各子网的中心节点；
2. 把除中心节点外的各节点按其流量大小排序；
3. 根据这个次序，从大到小依次按下述步骤处理各节点：
 - 计算当前情况下各子网网内流量和全网网际流量；
 - 根据费用选择3个次近的中心节点，将该点分别移入这些子网并分别计算移入后各子网的网内流量和全网网际流量；
 - 在其中选择网内流量最大而网际流量最小的一个方案，并将该节点正式放入相应子网。

二 子网内的连接设计。

本算法在实现子网内的连接时先考虑流量因素，再考虑费用及容量。主要遵循的有以下几条原则：

- 网内流量大、网际流量小的尽量相连并与终端集中器的层次位置远一些。
- 网内流量小、网际流量大的尽量相连并与终端集中器的层次位置近一些。

这样划分子网可以使它们在网内网际信息传输时经过最少的路线，有助于提高性能。

具体实现步骤如下：

1. 将各子网内除中心节点外的节点按照其网际流量由大到小排序，给出序号1.....n；
2. 将各子网内除中心节点外的各节点，按照网内流量由小到大排序，给出序号1.....n；
3. 把各电两种序号求和后再排序。这样就把网际流量大而网内流量小的排在前面，而网内流量大、网际流量小的排在后面；
4. 找出与每点的网内流量最大的点及次大的点，把这三点在3中的序号求和，找出序号之和最大的三个点，将这三个点连成一个三点的二叉树，然后把这三点看成一个点，重新进行从1开始的排序。直到将所有的终端连上；
5. 检查各线路的容量限制，做相应调整。

这样子网内部连接也完成了。

下面是一个按该算法，完成对有A、B、C、D、E、F六个非中心节点的子网进行子网内部连接设计的实例：

由步骤1、2得到如下表一

排序号	1	2	3	4	5	6
网际由大到小	A	C	F	B	D	E
网内由小到大	D	A	C	B	E	F

将两种排序号相加：

终端	A	B	C	D	E	F
两种排序号相加	3	8	5	6	11	9

按照上表进行排序，并分别求出与各点网内流量最大及次大的点，将排序号相加：

排序号	1	2	3	4	5	6
终端	A	C	D	B	F	E
与其网内流量最大的点	E	B	A	F	D	C
与其网内流量次大的点	F	A	B	E	C	D
排序号相加	12	7	8	15	10	11

由上表可知，应将 B、F、E 连成一个二叉树，然后将 B、F、E 看成一个点重新开始步骤一。

当子网内节点数较多时，如果仍然采用本算法中使用的二叉树，将会使得子网的层数过深。在这种情况下可以相应地采用三叉树、四叉树或各种结构的混用等方式构成子网内的连接。也可以把最大层数作为一个参数，根据它和节点数计算出用该算法思想构造子网内的连接时所采用的方式。

用这样的算法构造连接的好处在于能使网内信息流通尽量不经过中心节点，从而增加了信息流动的可靠性。

由于没有考虑费用因素，这种方法适用各终端分布比较集中的情况，在大多情况下，子网内的终端都是满足用这种条件的。对于子网内部分布比较分散的情况，Chandy-Russell 算法比较适用。根据实际情况可以进行选择使用。

5、小结

网络拓扑设计是一个复杂的过程，各种因素的相互制约以及它们不断的动态变化，使得在入网节点数目较大的情况下，寻找最佳的方案几乎是不可能的。

每个经典的拓扑设计算法都具有较强的针对性和局限性，它们都只能在一定的条件下使用。它们当中的任何一个都无法适用于今天这种大规模而又复杂的环境。为此，我们在本文中提出了一种新的网络拓扑设计算法，它是在分析当前与网络设计有关的各种条件和因素的基础上，通过集成和改进传统算法后生成的，适用于各种大规模的网络拓扑设计环境。

参考文献：

[1]H. G. Dysart and N. D. Georganas . NEWCLUST: An Algorithm for the Topological Design of Two-level, Multidrop Teleprocessing Networks. IEEE Transactions on Communications, vol. COM-26, no. 1, January 1978

[2] Mischa Schwartz .Computer Communication Network Design and Analysis. 1977

ABSTRACT

Firstly, the paper introduces some main points and processes of computer network topologic design. Then with the consideration of the characteristics in the network design at present, and on the base of analyzing and mending some classical topology design algorithms, raises a specific actualizing method orienting large-scale network topologic design. This method consists of two parts, one part is node sorting algorithm aims to divide the nodes into sub-networks, the other part is the link design algorithm in the sub-network.

吴桦：硕士研究生，主要研究方向为计算机网络拓扑设计。

丁伟：博士，东南大学副教授。主要研究方向为计算机网络设计和网络安全。