

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H04L 12/46 (2006.01)

H04L 12/44 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200610126564.5

[43] 公开日 2007年3月7日

[11] 公开号 CN 1925449A

[22] 申请日 2006.8.28

[21] 申请号 200610126564.5

[30] 优先权

[32] 2005.8.29 [33] US [31] 11/212,661

[71] 申请人 阿尔卡特公司

地址 法国巴黎

[72] 发明人 B·拉赫米 B·S·布-迪亚布

F·奎尔沃

[74] 专利代理机构 北京市中咨律师事务所

代理人 杨晓光 李 峥

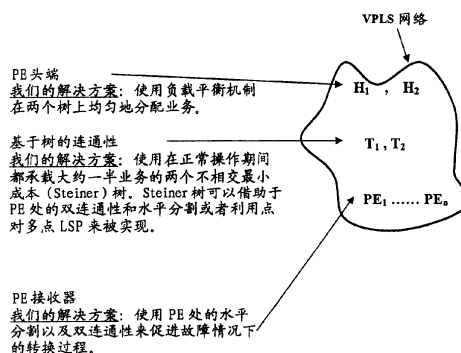
权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 3 页

[54] 发明名称

最小成本基于树的虚拟专用局域网服务结构中的弹性

[57] 摘要

描述了一种用于在 VPLS 网络上提供弹性多媒体广播服务的系统。网络管理系统 (NMS) 利用以额外步骤所执行的 Steiner 算法来计算不相交最小成本树, 以产生不相交的树。VPLS 网络中的目的 PE 路由器连接到不相交树, 以便它们可以在出故障的情况下由另一个树来服务。每个不相交树都具有足够的带宽以承载 VPLS 网络所提供的所有服务。然而在正常的操作下, 所述服务在所述树上被均匀地分配。如果发生故障, 则有故障的树上的服务利用水平分割桥接而被转换至另一个树。每个 Steiner 树还可以利用点对多点 LSP 来实现, 其被预计算的点对多点 LSP 全面地保护。



1. 一种在具有至少两个源提供商边缘路由器和多个目的提供商边缘路由器的虚拟专用局域网服务网络上提供广播服务的方法，所述源提供商边缘路由器中每个都连接到各自的头端系统以广播服务，所述目的提供商边缘路由器中每个都连接到所述虚拟专用局域网服务网络中的至少两个核心提供商路由器，该方法包括下列步骤：

a) 计算多个斯坦纳树，每个所述树都源自各自的源提供商边缘路由器并且包括每个目的提供商边缘路由器，所述多个斯坦纳树至少关于所述虚拟专用局域网服务网络中的核心提供商路由器而彼此不相交；

b) 为所述斯坦纳树中的每个提供足够的带宽以承载所有广播服务；
以及

c) 在所述斯坦纳树中每一个上广播一部分所述广播服务，由此所有广播服务在所述多个斯坦纳树上被广播。

2. 根据权利要求1的方法，其中，所述广播服务在所述树上被均匀地分配。

3. 根据权利要求1的方法，其中，最小成本（斯坦纳）树是利用点对多点标记交换路径而被实现的。

4. 根据权利要求1的方法，其中，响应于所述树之一中的故障，有故障的树的服务的IGMP成员被插入（一个或多个）无故障树的头端系统中，并且所述有故障的树的用户边缘路由器利用水平分割桥接而连至所述（一个或多个）无故障树。

5. 根据权利要求4的方法，其中，带宽在所述有故障的树上被释放。

6. 根据权利要求1的方法，其中，所述广播服务是数字多媒体服务。

7. 根据权利要求6的方法，其中，所述多媒体服务是数字电视服务。

8. 根据权利要求6的方法，其中，所述多媒体服务是视频点播服务。

9. 根据权利要求1的方法，其中，请求网络管理系统提供所述广播服务。

10. 根据权利要求9的方法,其中,所述网络管理系统预计算两个斯坦纳树,以使带宽针对每个树而被保留。

11. 根据权利要求10的方法,其中,采用负载平衡机制以在两个树上均匀地分配频道。

12. 一种用于在具有至少两个源提供商边缘路由器和多个目的提供商边缘路由器的虚拟专用局域网服务网络上提供广播服务的网络管理系统,所述源提供商边缘路由器中每一个都连接到各自的头端系统以广播服务,所述目的提供商边缘路由器中每一个都连接到所述虚拟专用局域网服务网络中的至少两个核心提供商路由器,所述网络管理系统包括:

用于计算多个斯坦纳树的装置,每个所述树都源自各自的源提供商边缘路由器并且包括每个目的提供商边缘路由器,所述多个斯坦纳树至少关于所述虚拟专用局域网服务网络中的核心提供商路由器而彼此不相交;

用于为所述斯坦纳树中每一个提供足够的带宽以承载所有广播服务的装置;和

用于在所述斯坦纳树中每一个上广播一部分所述广播服务的装置,由此所有的广播服务在所述多个斯坦纳树上被广播。

13. 根据权利要求12的网络管理系统,该网络管理系统具有用于利用点对多点标记交换路径来提供所述斯坦纳树中每一个的装置。

14. 根据权利要求12的网络管理系统,其中,所述带宽在所述斯坦纳树之间被均匀地分配。

15. 根据权利要求14的网络管理系统,其中,如果在一个斯坦纳树中发生故障,则在一个或多个其它树上提供所述服务。

16. 根据权利要求15的网络管理系统,其中,负载平衡装置被用来分配服务。

17. 根据权利要求15的网络管理系统,其中,水平分割桥接被用来分配服务。

18. 根据权利要求12的网络管理系统,其中,计算两个斯坦纳树,第一个是正常操作树,而第二个是备用树。

最小成本基于树的虚拟专用局域网服务结构中的弹性

技术领域

本发明涉及 VPLS 网络上的广播多媒体服务，并且具体涉及用于在 VPLS 网络中提供最低成本和弹性的 Steiner（斯坦纳）基于树的结构。

背景技术

虚拟专用 LAN 服务（VPLS）虽然是相对较新的技术，但是已经被服务提供商用来聚集服务以递送到家庭和企业用户。这些服务包括例如数字电视和视频点播的广播多媒体。

也称为透明 LAN 服务（TLS）或者 E-LAN 服务的 VPLS，是第 2 层多点虚拟专用网（VPN），其允许多个站点通过提供商管理的 IP/MPLS 网络、在单个桥接域中被连接。VPLS 实例中的所有用户看起来像是在同一 LAN 上而与它们的位置无关。

具备 VPLS 能力的网络由用户边缘（CE）、提供商边缘（PE）和核心 MPLS 网络组成。CE 设备是位于客户场所的路由器或交换机，并且可以为用户或服务提供商所拥有。它经由接入链路（AC, Attachment Circuit）而连接到 PE。PE 设备是这样的设备：其中存在所有的 VPN 智能，始发并终止 VPLS，并且建立所有必需的隧道以连接到所有其它 PE。核心 MPLS 网络互连 PE；它没有真正地参与 VPN 功能性。业务简单地基于 MPLS 标签而被转换。

VPLS 的基础是在 VPN 服务中的所有参与 PE 之间所建立的 MPLS 隧道（外部隧道）的全网状。对于每个 VPLS 实例，也称为伪线（PW, pseudo wire）的内部隧道的全网状，在所有参与 VPLS 实例的 PE 之间被创建。PW 由一对点对点、一跳、反方向的单向标记交换路径（LSP）组成，每

个都由 PW 标记来标识。

为了防止正向环路，使用水平分割（Split Horizon）规则。在 VPLS 背景中，这个规则基本上意味着如果分组已经从 PW 被接收则 PE 必须决不在 PW 上发送该分组。这确保了业务不能在使用 PW 的骨干网上形成环路。总是存在 PE 设备之间的 PW 的全网状这一事实，确保广播分组将到达 VPLS 内的每个目的地。

任何新型或新兴的技术都必须能够提供与它要替换的技术一样或更好的服务。因此，为使 VPLS 能够在多媒体广播域被接受，它必须能够以可与现有服务相比较的成本提供可靠且有弹性的服务。因此，已经做出大量努力来发现允许 VPLS 以成本有效且高效的方式提供所需服务的结构。

以下论述涉及包括已演进到支持多媒体网络中的弹性的冗余树的努力。这些方案可以被分成两类：使用预计算的备用路径的静态方案，和即时（on the fly）计算备用路径的动态方案。

静态方案中的算法同时构建了主树和备用树。在 M. Kodialeem 和 T. Lakshman 于 2002 年 6 月在 IEEE INFOCOM 学报上发表的“Dynamic routing of bandwidth guaranteed multicasts with failure backup”中描述了这样一种算法，它最小化由主路径和备用路径所用的带宽。该算法选择组中的每个成员，开始于源（在最短路径树的情况下）或中心（在基于中心的树的情况下）。对于每个成员，计算从源（或中心）到这个成员的两个不相交路径。一个路径被插入主树，而另一个被插入备用树。树所用的带宽被最小化。然而，由于备用路径针对所有可能的链接故障来保护树，因此应当保留给备用树的总带宽至少与保留给主树的带宽相同。在 Alon Itai 和 Michael Rodeh 的 1984 年 IEEE Symposium on Foundations of Computer Science 第 137-147 页上的“The multi-tree approach to reliability in distributed networks”中，以及在 M. Medard, S. Finn, R. Barry 和 R. Gallager 的 1999 年 IEEE/ACM Transactions on Networking, 7(5):641-652 的“Redundant trees for preplanned recovery in arbitrary vertex-redundant or edge-redundant graphs”中，提出了类似的方法，在

后一文献中，从源到目的节点的传输是通过将分组从源发送到根节点并然后从根发送到目的节点来实现的。如果没有链路或节点故障，则在主树上执行所述传输。当发生单个节点或链路的故障时，受故障影响的业务使用备用树。在 Medard 等人的文献中，算法构造了根在源节点的两个定向的生成树。其中一个用作工作树，而另一个生成树用于故障恢复。

在 Y.-F. Wang 和 R.-F. Chan 的文章“Self-healing on ATM multicast tree”（1998年8月的 IEICE Transaction on Communication, E81-B(8):590-598）中，引入在线的（动态）机制来修复 ATM 多播路由树。这些较小树中的一个包括原始树的源或中心，并且另一子树是以有故障链路下游的交换机为根的树。该交换机向它所有的邻居发送包括它的唯一交换机标识符的故障通知消息。每个邻居将该通知消息转发给它自己的邻居等等，从而使所述通知消息充满网络。接收通知消息的另一子树的第一交换机进行答复，并且在两个交换机之间建立备用路径。这个备用路径被插入多播路由树，并且该树被修复。

现有技术中所介绍的预先计划的恢复方案焦点集中于“生成树”冗余或“最短路径树”冗余。

在 2005 年 2 月 18 日提交的相关美国专利申请 11/060,465 中，提出了一种最小成本的树结构，用来在 VPLS 网络上广播多媒体服务（数字电视、视频点播）。尽管与基于 PE 路由器之间的全/部分网状连通性的传统 VPLS 结构相比，在先申请中的树结构提供了可观的带宽节约，然而所述树结构不是弹性的，即树中的故障会断开许多节点，并且甚至可能干扰整个通信。在此引入美国申请 11/060,465 的内容作为参考。

发明人所知道的现有技术中没有一个为最小成本（Steiner）多播树提供冗余，而这正是本发明的主题。而且，它们之中没有一个论述了如何将业务从有故障的树转换至备用树的步骤。

发明内容

本发明通过建议这样一种方案而克服了现有技术的局限：即实现接收

器 PE 处的水平分割 (VPLS 使能的边缘路由器的特征) 以及双连通性以促进转换过程。另外, 在本发明的指定应用中 (即在 VPLS 上广播数字多媒体), 在正常操作期间提供两个树 (工作树和备用树) 上的负载平衡。由于这两个树都是静态的, 因此在两个树上均匀地分配频道既高效又容易。借助于 PE 处的双连通性和水平分割所实现的负载平衡的冗余最小成本 (Steiner) 树是本发明所建议的唯一结构。每个 Steiner 树还可以利用点对多点 LSP 而被实现。

在本发明中, 提供了一种方法和结构来保护最小成本 (Steiner) 基于树的 VPLS 免于特别是分支节点的故障以及一般地许多其它可能类型的故障, 这因而提供了以可靠的方式广播多媒体服务的弹性结构。

因此, 根据本发明的第一方面, 提供了一种在具有至少两个源 PE 路由器和多个目的 PE 路由器的 VPLS 网络上提供广播服务的方法, 其中所述源 PE 路由器中每个都连接到各自的头端系统以广播服务, 所述目的 PE 路由器中每个都连接到 VPLS 网络中的至少两个核心提供商 (P) 路由器, 该方法包括下列步骤: 计算多个 Steiner 树, 其中每个所述树都源自各自的源 PE 路由器并且包括每个目的 PE 路由器, 所述多个 Steiner 树至少关于 VPLS 网络中的核心 P 路由器而彼此不相交; 为每个 Steiner 树提供足够的带宽来承载所有广播服务; 并且在每个 Steiner 树上广播一部分所述广播服务, 由此所有广播服务在多个 Steiner 树上被广播。

根据本发明的第二方面, 提供了一种在具有至少两个源 PE 路由器和多个目的 PE 路由器的 VPLS 网络上提供广播服务的网络管理系统 (NMS), 其中所述源 PE 路由器中每个都连接到各自的头端系统以广播服务, 所述目的 PE 路由器中每个都连接到 VPLS 网络中的至少两个核心提供商 (P) 路由器, 所述 NMS 包括: 用于计算多个 Steiner 树的装置, 其中每个所述树都源自各自的源 PE 路由器并且包括每个目的 PE 路由器, 所述多个 Steiner 树至少关于 VPLS 网络中的核心 P 路由器而彼此不相交; 用于为每个 Steiner 树提供足够带宽以承载所有广播服务的装置; 以及用于在每个 Steiner 树上广播一部分广播服务的装置, 由此所有广播服务在多个 Steiner

树上被广播。

在本发明的所述方面的优选实施例中,提供每个所述 Steiner 树是利用点对多点 LSP 来被实现的。

附图说明

现在将参考附图更详细地描述本发明,其中:

图 1 是在 VPLS 网络上所构建的数字多媒体广播系统的抽象;

图 2 示出了具有各自 PE 处的双引导 (homing) 的不相交 Steiner 树;

图 3A 示出了最短路径树; 和

图 3B 示出了根据本发明的 Steiner 树。

具体实施方式

图 1 示出了在 VPLS 网络上所构建的数字多媒体广播系统的抽象,其中 H1 和 H2 是连接到头端及其备用的专用 PE, 并且 PE1...PE_n 是在接收器站点连接到聚集节点 (CE) 的 PE。在传统的 VPLS 结构中, (H1, H2) 和 (PE1, ..., PE_n) 之间的连通性通过伪线的网状而被实现。然而, 在早期的申请 S.N.11/060,465 中, 发明人公开了一种将业务从头端 PE 传送至接收器 PE 的树结构。该树可以是最短路径树, 或者是也称为 Steiner 树的最小成本树, 这里将详细描述这种树。由于 PE 之间的连通性通过树结构被实现, 因此将图 1 的结构称作基于树的 VPLS, 或简称为 TVPLS。

本发明特别涉及一种用于保护最小成本 (Steiner) TVPLS 免于特别是分支节点的故障以及一般地许多其它故障的方法和结构。

本发明的概念通过例子而得到了最好的说明。图 2 示出了用于数字电视广播服务的 Steiner 基于树的 VPLS 网络的例子。该网络包括连至多媒体路由器的视频源, 提供商边缘 (PE) 路由器, 核心路由器 (P), 用户设备 (CE) 或聚集设备, 以及连至用户电视机的机顶盒 (STB)。

所述核心是全或部分网状的。接收器 PE 和发送器 PE 之间的连通性通过 VPLS 网络来提供。然而, 提供了类似于早期申请中所描述的最小成本

(Steiner) 树结构, 而不是使用 PE 之间的伪线的网状。与 (基于 PE 路由器之间的全/部分网状连通性的) 传统 VPLS 结构相比, 所述树结构提供了可观的带宽节约。然而, 所述树结构不是弹性的, 即树中的故障会断开源下游的许多节点, 并且甚至会干扰整个多媒体通信。

Steiner 树问题被描述为一个组合的优化问题。在它最一般的设置中, 以类似于最小生成树问题的方式来描述它, 即给定点 (顶点) 的集合 V , 假如允许向网络 (图) 添加新的顶点, 需要通过最短长度的网络 (图) 来互连这些点。Steiner 树还被描述为在图中互连节点的子集的最小成本树。它的成本小于在 MPLS 网络中所构建的最短路径树。图 3 (a) 示出了最短路径树, 其中六个链路在提供商网络中被使用, 尽管在如图 3 (b) 所示使用 Steiner 树的情况下可以仅通过四个链路提供相同的连通性。

正式地, 如下描述图中的 Steiner 问题: 给定图 $G = (V, E)$, 其中 V 是顶点集合并且 E 是图上的边缘的集合, 并且给定与边缘相关联的成本函数, 并且给定源顶点 S , 和目的顶点 D 的集合, 发现 G 的子树 $T = (V_T, E_T)$, 其横越 S 和 D (将顶点 S 连接到 D 中的顶点), 以使树 T 的成本 $\text{cost}(T)$ 被最小化。

Steiner 树问题被示出为 NP 完全 (NP complete) (在多项式时间中无解)。然而, 存在若干可用的试探法, 其为多项式时间中的 Steiner 树问题提供次最佳的解。由于 Steiner 树的计算是一个优化问题, 因此提出了范围从蚁群方法到遗传算法的迭代解、模拟退火法 (Simulated Annealing) 以及例如最小生成树的非迭代解, 以提供次最佳的解。迭代解的准确度取决于迭代的次数。

所有这些解决方案都提供了次最佳的答案, 并且在最坏情况下, 树的成本是最佳成本的两倍。最佳试探法之一是基于最小生成树算法的, 其中

- 首先, 基于 G 中的 S 和 D 之间的最短路径长度构造完整的图 $G' = (V, E')$ 。

- 针对 G' 构造最小生成树 T' 。

- T' 中的边缘被转换成 G 中的路径以形成 Steiner 解。

更正式地, B. Waxman 在 1988 年 12 月的 IEEE Journal of Selected Areas in Communications Vol.6, No.9, pp.1617-1622 的“Routing of Multipoint Connections”中,介绍了一种已知的用于计算 Steiner 树的试探算法。试探算法称为 KMB 算法(依照算法的原始发明人 Kou, L., G. Markowsky, L. Berman 而被命名 - “A Fast Algorithm for Steiner Trees”, Acta Informatica, Springer-Verlag, vol. 15, no. 2, 1988, pp.141-145.7)。

如下概括所述算法:

输入:

(a) 无向距离图 $G = (V, E, d)$, 其中 V 是顶点集合, E 是边缘集合, 而 d 是边缘成本集合,

(b) V 的 Steiner 点 S 子集的集合(注: S 的子集的终点),

输出: 针对 G 和 S 的 Steiner 树

步骤 1: 从 G 和 S 构造完整的无向距离图 $G^* = (S, E^*, d^*)$ 。这里, $E^* = \{\{v_1, v_2\} : S \text{ 的 } v_1 \text{ 和 } v_2 \text{ 不同元素}\}$, 并且对于 E^* 的每个 $\{v_1, v_2\}$ 元素, $d^*(\{v_1, v_2\})$ 被设置成等于从 G 中的 v_1 到 v_2 的最短路径的距离;

步骤 2: 找到 G^* 的最小生成树 T^* ;

步骤 3: 通过用 G 中对应的最短路径替换 T^* 中的每个边缘, 来构造 G 的子图 G' ;

步骤 4: 找到 G' 的最小生成树 T' ;

步骤 5: 根据需要, 通过删除 T' 中的边缘, 从 T' 构造 Steiner 树 T , 以使得 T 中所有叶子都是 Steiner 点。

所述算法具有最差情况的时间复杂度 $O(|S||V|^2)$ 。

在图 2 所示的网络中可能存在不同的故障点, 例如非分支 ‘P’ 路由器、分支 ‘P’ 路由器、源 ‘PE’ 路由器、目的 ‘PE’ 路由器、源多播路由器、用户边缘设备 (CE)、核心中的链路、CE 和 PE (接入链路) 之间的链路。CE 和 PE 设备是利用冗余而被构建的。控制平面是冗余的。数据路径 (硬件&软件) 可能也是冗余的。CE 和 PE 之间链路 (称作接入链路 (AC)) 的故障, 通过典型地由 IEEE 802.3AD 链路聚集协议所提供的冗

余来被恢复。核心中的故障可以利用 MPLS 快速重路由来被恢复。同样，该核心是全或部分网状的。‘P’路由器是以高可靠度和冗余度而被构建的。同样，核心路由器的故障必须被看作是罕有的事件。

存在几个可用于检测节点或链路故障的机制。例如，例如“双向前向检测”的普通方案可以用来检测链路和节点故障。链路故障还可以通过媒介在第 1 层被检测（例如：光信号的丢失、信号丢失、SONET/SDH 告警等等）。故障检测不在本发明的范围内，并且假定已经存在一种机制来检测故障。

在本发明中，提供了具有 PE 处的水平分割和双连通性的负载平衡的不相交 Steiner 树。这些通过方法和结构来提供，其中所述方法和结构保护最小成本（Steiner）基于树的 VPLS 免于特别是分支节点的故障以及一般地许多其它可能类型的故障，这因而为广播多媒体服务提供了弹性的结构。在以下描述中，提供了如何将业务从有故障的树转换至备用树的细节。也描述了这样的过程：用于实现接收器 PE 处的水平分割以及双连通性，以促进转换过程。另外，在本发明的指定应用中，即在 VPLS 上广播数字多媒体，讨论了正常操作期间两个树（工作树和备用树）上的负载平衡。由于这两个树都是静态的，因此在两个树上均匀地分配频道是高效且容易的。

分支 P（BP）路由器是核心路由器，它也能够终止 MPLS LSP，并且执行 VLAN 广播或 MPLS 多播。这些路由器也以高可靠度和冗余度而被构建。同样，它们的故障是罕有的事件。然而，如果 BP 路由器发生故障，则许多节点受到影响。为了从这种故障中恢复，一个选项是假定上游 P 路由器能够分支，并且因而采用一种信令机制来将分支功能从有故障的 BP 路由器传送到它的上游 P 路由器。这个选项引入了复杂度，并且假定基本上网络中的许多 P 路由器能够分支。这里基于计算不相交的最小成本（Steiner）树并且采用如图 2 所示的 PE 处的水平分割，提供了替换的解决方案。

网络管理系统（NMS）利用接收器 PE 处的双连通性来预计算两个不相交的 Steiner 树。这通过以下操作而被实现：计算第一 Steiner 树，然后

从图的列表中移除第一树的 P 节点，并且计算第二 Steiner 树而不涉及计算中的第一树的 P 路由器。应当指出，只有 P 路由器被排除在第二树的计算之外（不是分支 P 路由器）。利用这个方案，两个不相交的最小成本（Steiner）树通过网络管理系统而被计算，并且经由网络被提供。应当指出，由于 Steiner 树的成本平均是最短路径树的 60%，如通过 Dijkstra 算法所计算的并且由 PIM 所使用的（参见 V. Kompella, J. Pasquale, G. Polyzos 的“Multicast Routing for Multimedia Communication”，IEEE/ACM Transactions on networking, Vol.1, NO.3, 1993 年 6 月, pp.286-292.5），因此包括两个 Steiner 树的解决方案的总成本大约比最短路径树的成本多出 20%（仍然是可比拟的），同时提供完全冗余。在正常的操作中，在头端 PE 采用负载平衡机制来均匀地在两个树上分配 TV 频道。尽管每个树都有足够的容量来将所有频道从源 PE 传送至目的 PE，然而它们只针对大约一半带宽而被使用。另一半在另一个树上被承载。如果在一个树上发生故障，则在下面描述的每个恢复步骤中将它的业务转换至另一个树。

在服务初始化阶段期间，网络管理系统（NMS）预计算如图 2 所示的两个不相交 Steiner 树。LSP 被分配，并且带宽在两个树上被保留，以便每个树都可以承载所有的频道。然而，所述树没有被完全使用。在头端 PE 中采用负载平衡机制以在两个树上均匀地分配频道。同样，在正常的操作中，每个树都被大约一半的多媒体业务使用。

当所述树之一上的分支‘P’路由器发生故障时，NMS 在工作树的多播路由器处插入静态 IGMP 成员，以在该工作树上广播所有 TV 频道。为了将 CE 接收器连到工作树，在 PE 接收器处使用水平分割规则。如果 PE 能够进行水平分割，则不需要附加的动作。备用树上的业务流将被自动转发至接入链路。

在工作树上广播频道之后，NMS 通过移除主多播路由器中的静态 IGMP 条目（entry）来停止在有故障的树上转发频道。这释放了有故障的树上的可用带宽。

在图 2 所建议的结构中，应当指出：

- a. 所述结构应该是物理上可能从故障中恢复的，即核心结构是网状的（或部分网状），PE 具有双连通性；
- b. 从链路故障中恢复是通过 MPLS 快速重路由、RPR 保护交换或等效路径恢复方法来实现的；
- c. 应当提供“源多播路由器”的冗余，尽管本解决方案也可以只通过一个多播路由器来实现。

VPLS 的重要应用是在广播多媒体服务方面。在这种应用中，非常期望结构的弹性。本发明提供基于树的 VPLS 中的弹性，发明人所知的任何现有技术都没有提供它。

通常，现有技术的焦点集中于生成树冗余或最短路径树冗余。它们之中没有一个提供了针对最小成本（Steiner）多播树的冗余。而且，它们之中没有一个论述了如何将业务从有故障的树转换至备用树的步骤。Steiner 树与 PE 处的水平分割和双连通性的组合，产生了本发明所介绍的唯一结构，其支持基于树的 VPLS 广播系统中的弹性。

同样，如这里建议的预先计划的恢复方案在速度方面优于动态故障恢复。动态故障恢复通常较慢并且没有提供小于 50 毫秒的相等恢复时间。

尽管已经描述并说明了本发明的指定实施例，然而在不背离基本概念的情况下实现许多变形对本领域的技术人员来说是显而易见的。然而应当理解，这种变形是在由所附权利要求所定义的本发明的整个范围内的。

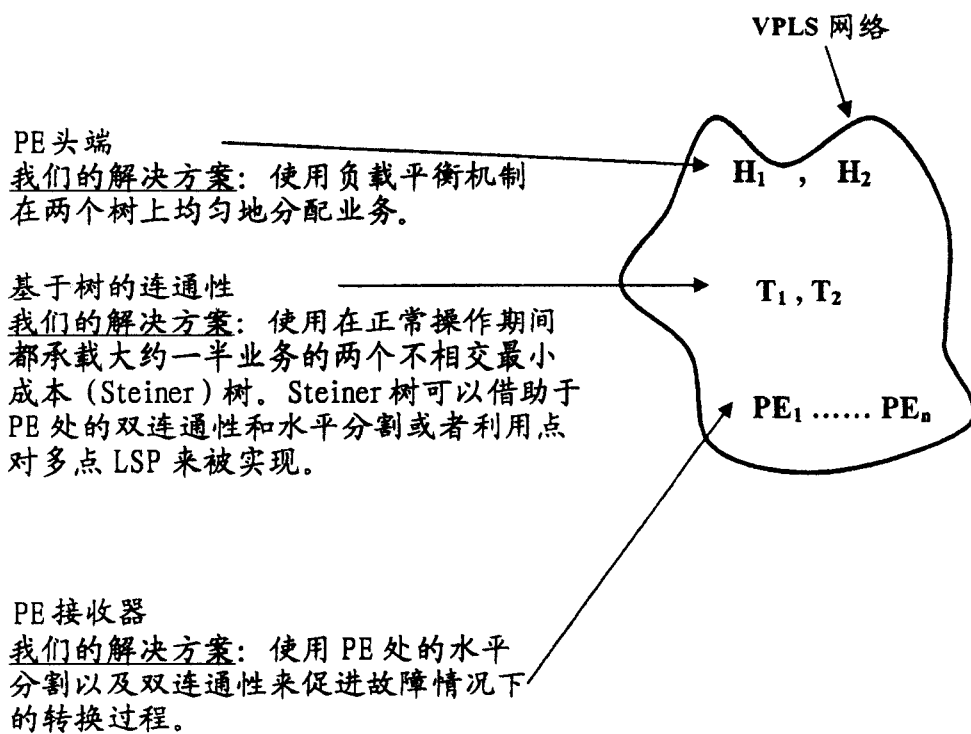


图 1

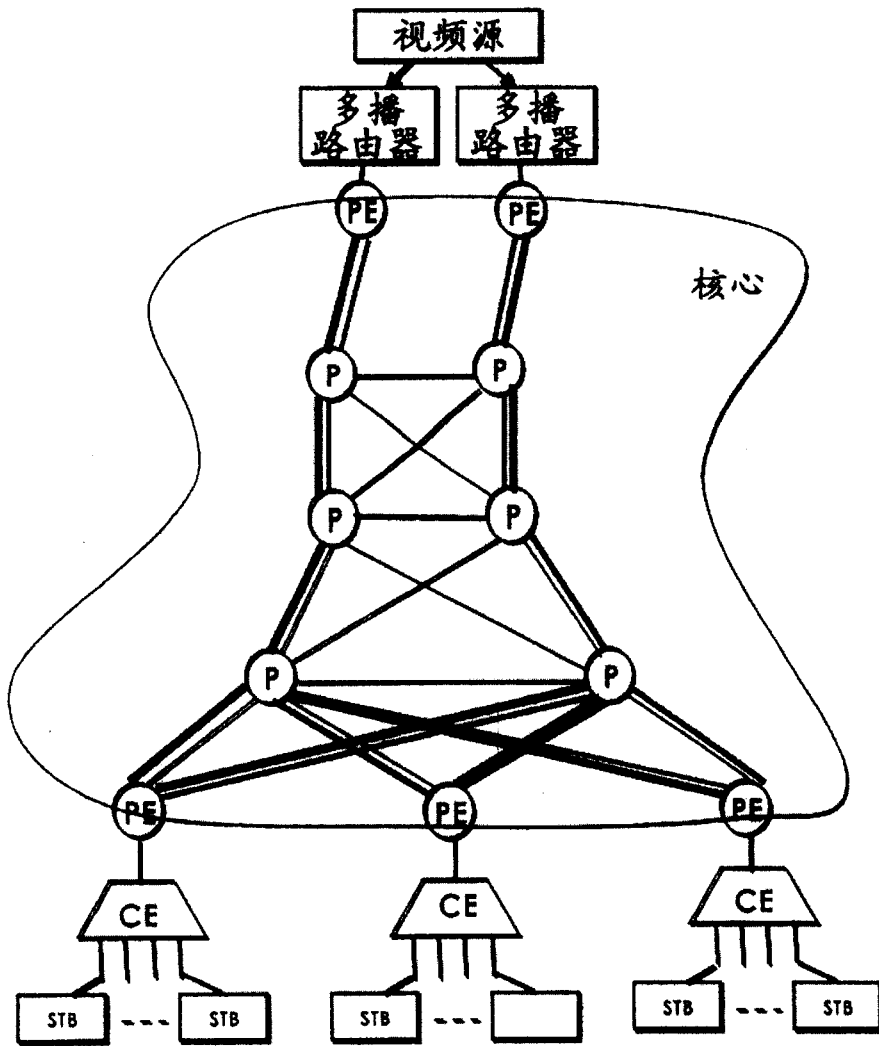


图 2

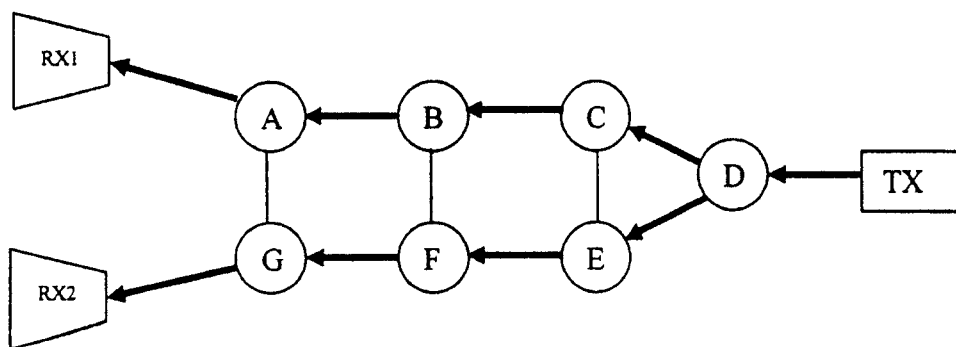


图 3 (A) 最短路径树

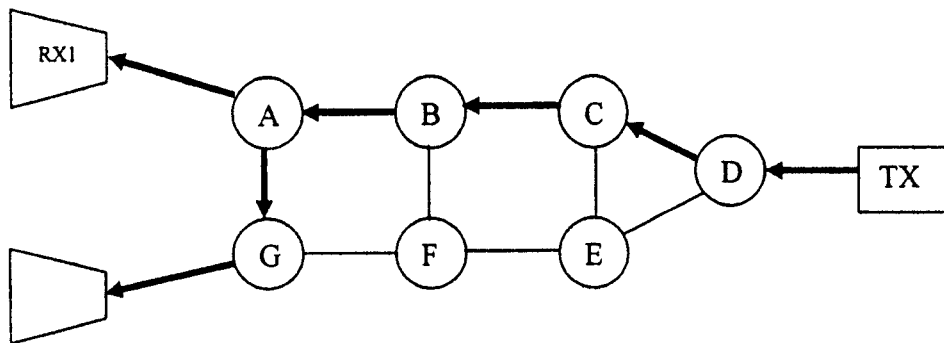


图 3 (B) Steiner 树