



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510135982.6

[45] 授权公告日 2008 年 11 月 26 日

[11] 授权公告号 CN 100438503C

[22] 申请日 2005.12.29

[21] 申请号 200510135982.6

[30] 优先权

[32] 2005.10.26 [33] CN [31] 200510116664.5

[73] 专利权人 华为技术有限公司

地址 518129 广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼

[72] 发明人 张华琛 谢小强 吴志明 邓一鸥
张进

[56] 参考文献

EP1395003A2 2004.3.3

CN1523834A 2004.8.25

CN1319983A 2001.10.31

CN1466339A 2004.1.7

审查员 吴翔晖

[74] 专利代理机构 北京德琦知识产权代理有限公司

代理人 宋志强 麻海明

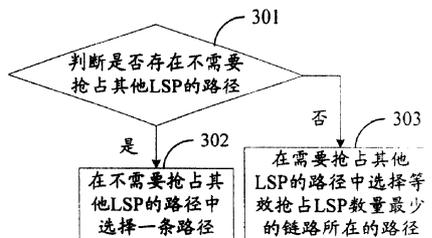
权利要求书 5 页 说明书 24 页 附图 3 页

[54] 发明名称

一种选择路径的方法

[57] 摘要

本发明公开了一种选择路径的方法，包括以下步骤：A、起始路由器判断是否存在不需要抢占其他 LSP 的路径，如果存在，则执行步骤 B；否则，执行步骤 C；B、在不需要抢占其他 LSP 的路径中选择一条路径，并结束本流程；C、在需要抢占其他 LSP 的路径中选择等效抢占 LSP 数量最少的链路所在的路径。利用本发明，解决了低优先级 LSP 频繁被建立与抢占，低优先级 LSP 的流量也频繁被中断的问题，大大提高了网络的稳定性。同时，也避免了在不需要抢占其他 LSP 中的链路时发生抢占，使整个网络的流量分布趋于均衡，大大提高了整个网络中链路的利用率。



1、一种选择路径的方法，其特征在于，包括以下步骤：

A、起始路由器判断是否存在不需要抢占其他标签交换路径 LSP 的路径，如果存在，则执行步骤 B；否则，执行步骤 C；

B、在不需要抢占其他 LSP 的路径中选择一条路径，并结束本流程；

C、在需要抢占其他 LSP 的路径中选择等效抢占 LSP 数量最少的链路所在的路径。

2、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，步骤 A 中所述判断是否存在不需要抢占其他 LSP 的路径为：

起始路由器判断自身与目的路由器之间是否至少存在一条全部链路上可用带宽资源都能够满足新业务流量需要的路径。

3、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，步骤 B 中所述在不需要抢占其他 LSP 的路径中选择一条路径包括：

在不需要抢占其他 LSP 的路径中选择一条链路利用率最低的路径。

4、根据权利要求 3 所述的方法，其特征在于，所述在不需要抢占其他 LSP 的路径中选择一条链路利用率最低的路径包括：

B1、在每条不需要抢占其他 LSP 的路径中选择一条指标最差的链路，所述指标最差的链路为链路负载率 $F(\text{link}(uv))$ 最大的链路，所述 $F(\text{link}(uv)) = (SB+UB(uv))/RB(uv)$ ，其中， $RB(uv)$ 表示链路 $\text{link}(uv)$ 上的预留总带宽， $UB(uv)$ 表示链路 $\text{link}(uv)$ 上的已经被占用的总带宽， SB 表示新建 LSP 所需的带宽；

B2、将选择的指标最差的链路构成一个集合，在指标最差的链路构成的集合中选择一条指标最优的链路，所述指标最优的链路为所述指标最差的链路构成的集合中 $F(\text{link}(uv))$ 最小的链路；

B3、将选择的指标最优的链路作为链路利用率最低的链路，选择该链路所在的路径。

5、根据权利要求 4 所述的方法，其特征在于，步骤 B1 中所述 $F(\text{link}(uv))$

值最大的链路同时存在多条，该方法进一步包括：

计算并比较 $F(\text{link}(uv))$ 值最大链路的 (RB-SB-UB) 值，选择 (RB-SB-UB) 值最小的链路作为指标最差的链路。

6、根据权利要求 5 所述的方法，其特征在于，所述 (RB-SB-UB) 值最小的链路同时存在多条，该方法进一步包括：

在所述多条 (RB-SB-UB) 值最小的链路中，随机选择一条链路作为指标最差的链路。

7、根据权利要求 4 所述的方法，其特征在于，所述步骤 B2 中 $F(\text{link}(uv))$ 值最小的链路同时存在多条，该方法进一步包括：

计算并比较 $F(\text{link}(uv))$ 值最小链路的 (RB-SB-UB) 值，选择 (RB-SB-UB) 值最大的链路作为指标最优的链路。

8、根据权利要求 7 所述的方法，其特征在于，所述 (RB-SB-UB) 值最大的链路同时存在多条，该方法进一步包括：

在所述多条 (RB-SB-UB) 值最大链路所属的路径中，分别剔除各自包含的所述 (RB-SB-UB) 值大的链路，并再次执行步骤 B1 和 B2，直至选择出一条指标最优的链路。

9、根据权利要求 8 所述的方法，其特征在于，所述在剔除各自包含的所述 (RB-SB-UB) 值大的链路的过程中，某条路径中的链路被全部剔除，步骤 B3 中选择的路径为所述链路被全部剔除的路径。

10、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，步骤 B 中所述在不需要抢占其他 LSP 的路径中选择一条路径包括：

在不需要抢占其他 LSP 的路径中选择一条链路数量最少的路径。

11、根据权利要求 10 所述的方法，其特征在于，所述在不需要抢占其他 LSP 的路径中选择一条链路数量最少的路径包括：

B1'、在不需要抢占其他 LSP 的路径中计算每条路径所包含链路的数量；

B2'、比较计算出的每条路径所包含链路的数量，选择链路数量最少的路径。

12、根据权利要求 11 所述的方法，其特征在于，步骤 B2' 中所述链路数量最少的路径同时存在多条，该方法进一步包括：

将链路数量最少的路径构成一个集合，假设 $P(\text{path}(u)) = F(\text{link}(u_1)) + F(\text{link}(u_2)) + \dots + F(\text{link}(u_n))$ ，其中 $F(\text{link}(uv)) = (SB + UB(uv)) / RB(uv)$ ，根据公式 $P(\text{path}(u)) = F(\text{link}(u_1)) + F(\text{link}(u_2)) + \dots + F(\text{link}(u_n))$ 计算该集合中每条路径的 $P(\text{path}(u))$ 值，选择 $P(\text{path}(u))$ 值最小的路径。

13、根据权利要求 12 所述的方法，其特征在于，所述 $P(\text{path}(u))$ 值最小的路径同时存在多条，该方法进一步包括：

在所述多条 $P(\text{path}(u))$ 值最小的路径中随机选择一条路径。

14、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述步骤 C 包括：

C1、对内部路由网关协议 IGP 进行扩展，在每条需要抢占其他 LSP 的路径中选择一条指标最差的链路，所述指标最差的链路为等效抢占 LSP 数量 $E(\text{link}(uv))$ 最大的链路；

C2、将选择的指标最差的链路构成一个集合，在指标最差的链路构成的集合中选择一条指标最优的链路，所述指标最优的链路为所述指标最差的链路构成的集合中 $E(\text{link}(uv))$ 值最小的链路；

C3、将选择的指标最优的链路作为等效抢占 LSP 数量最少的链路，选择该链路所在的路径。

15、根据权利要求 14 所述的方法，其特征在于，所述路径为点到点的单播路径，所述步骤 C1 包括：

C11、在 IGP 的中间系统到中间系统 IS-IS 协议中引入新的类型长度值 TLV，或者在 IGP 的开放最短路径优先 OSPF 协议中引入新的链路状态通告 LSA，在新引入的 TLV 或 LSA 中存放每条链路上 LSP 的数量、优先级别和带宽级别信息；

C12、假设 $E(\text{link}(uv))$ 与 $LSP(uvrt)$ 之间的关系式，其中 $E(\text{link}(uv))$ 表示某条链路上等效抢占 LSP 的数量， $LSP(uvrt)$ 表示路径 u 上第 v 条链路的优先级别为 r 带宽级别为 t 的 LSP 被抢占的数量；将每条链路上 LSP 的数量、优先级别和

带宽级别信息代入所述 $E(\text{link}(uv))$ 与 $LSP(uvrt)$ 之间的关系式, 计算每条链路的 $E(\text{link}(uv))$ 值;

C13、在每条需要抢占其他 LSP 的路径中比较每条链路 $E(\text{link}(uv))$ 值的大小, 将 $E(\text{link}(uv))$ 值最大的链路作为该路径中指标最差的链路。

16、根据权利要求 14 所述的方法, 其特征在于, 所述路径为点到多点的组播路径, 所述步骤 C1 包括:

C11'、在 IGP 的 IS-IS 协议中引入新的 TLV, 或者在 IGP 的 OSPF 协议中引入新的 LSA, 在新引入的 TLV 或 LSA 中存放每条链路上 LSP 的数量、优先级别、带宽级别和组播组地址信息;

C12'、假设 $E(\text{link}(uv))$ 与 $LSP(uvrt)$ 之间的关系式, 其中 $E(\text{link}(uv))$ 表示某条链路上等效抢占 LSP 的数量, $LSP(uvrt) = LSPs(uvrt) + LSPM1(uvrt) + LSPM2(uvrt) + \dots + LSPMn(uvrt)$, $LSPs(uvrt)$ 表示路径 u 上第 v 条链路的优先级别为 r 带宽级别为 t 的单播 LSP 被抢占的数量, $LSPMn(uvrt)$ 表示路径 u 上第 v 条链路的优先级别为 r 带宽级别为 t 的组播路径 n 被抢占的数量; 将每条链路上 LSP 的数量、优先级别、带宽级别和组播组地址信息代入所述 $E(\text{link}(uv))$ 与 $LSP(uvrt)$ 之间的关系式, 计算每条链路的 $E(\text{link}(uv))$ 值;

C13'、在每条需要抢占其他 LSP 的路径中比较每条链路 $E(\text{link}(uv))$ 值的大小, 将 $E(\text{link}(uv))$ 值最大的链路作为该路径中指标最差的链路。

17、根据权利要求 15 或 16 所述的方法, 其特征在于, 步骤 C1 中所述 $E(\text{link}(uv))$ 值最大的链路同时存在多条, 该方法进一步包括:

计算并比较同时存在的多条 $E(\text{link}(uv))$ 值最大的链路上所有被抢占的 LSP 数量的总和, 选择所有被抢占 LSP 数量总和最大的链路作为指标最差的链路。

18、根据权利要求 17 所述的方法, 其特征在于, 所述被抢占的 LSP 数量的总和最大的链路同时存在多条, 该方法进一步包括:

在所述多条被抢占的 LSP 数量的总和最大的链路中随机选择一条链路作为指标最差的链路。

19、根据权利要求 14 所述的方法, 其特征在于, 所述步骤 C2 中 $E(\text{link}(uv))$

值最小的链路同时存在多条，该方法进一步包括：

计算并比较多条 $E(\text{link}(uv))$ 值最小链路被抢占 LSP 数量总和的大小，选择一条被抢占 LSP 数量总和最小的链路作为指标最优的链路。

20、根据权利要求 19 所述的方法，其特征在于，所述被抢占的 LSP 数量的总和最小的链路同时存在多条，该方法进一步包括：

在多条被抢占的 LSP 数量的总和最小链路所属的路径中，分别剔除各自包含的所述被抢占的 LSP 数量的总和最小的链路，并再次执行步骤 C1 和 C2，直至选择出一条指标最优的链路。

21、根据权利要求 20 所述的方法，其特征在于，所述在剔除各自包含的所述被抢占的 LSP 数量的总和最小的链路的过程中，某条路径中的链路被全部剔除，步骤 C3 中选择的路径为所述链路被全部剔除的路径。

一种选择路径的方法

技术领域

本发明涉及通信技术中多协议标签交换流量控制，尤其涉及一种选择路径的方法。

背景技术

依照传统互联网络协议中关于链路状态的内部路由网关协议（IGP），通信网络中路由器采用最短路径优先（SPF）算法选择最短的路径作为路由，不考虑路径的带宽因素。在最短路径处于拥塞状态时，即使其他次优路径处于空闲状态，路由器也不会选择空闲的次优路径作为路由，致使通信网络中网络流量的分布极不均衡。

多协议标签交换流量工程（MPLS TE）关注通信网络整体性能的优化，综合考虑路径的带宽因素，在通信网络的各条路径上均衡分布网络流量。运营商利用 MPLS TE 可以精确控制流量流经的路径，从而可以避开拥塞的节点，解决一部分路径过载，另一部路径空闲的问题，使运营商提供的网络资源得以充分利用，通信网络的整体性能得以优化。

MPLS TE 的上述功能是由 MPLS TE 结构实现的。如图 1 所示，图 1 为 MPLS TE 结构示意图。MPLS TE 结构主要包括 4 个基本组成单元：报文转发单元 101、信息发布单元 102、路径选择单元 103 和信令单元 104。

其中，报文转发单元 101 用于引导 IP 包流沿预先确定的路径通过网络。所述预先确定的路径是基于标签确定的，被称作标签交换路径（LSP），即业务流量从起始路由器按一定方向流向目的路由器的路径。由于 LSP 的是基于标签确定的，并不为通过现有 IGP 协议选择的到达目的路由器的最短路径所制约，所以可以避免起始路由器选择自身与目的路由器之间的最短路径作为路由。

信息发布单元 102 用于发布链路状态信息、网络拓扑信息和网络负载信息。MPLS TE 在计算约束路径时需要一些有关网络拓扑和网络负载的信息，例如最大链路带宽、最大可预留带宽、当前预留带宽、当前带宽使用和链接属性等，这些信息是通过对现有 IGP 协议进行扩展来发布的。在对现有 IGP 协议进行扩展时，一般是在中间系统到中间系统 (IS-IS) 协议中引入新的类型长度值 (TLV)，或者在开放最短路径优先 (OSPF) 协议中引入新的链路状态通告 (LSA)。MPLS TE 的路由器通过一个特殊的流量工程数据库 (TEDB) 对网络拓扑信息和网络负载信息进行管理。TEDB 用于计算 LSP 通过物理网络时的约束路径，与用于计算 LSP 通过物理网络时最短路径的 IGP 链接状态数据库相互独立。

路径选择单元 103 用于根据 TEDB 中的网络拓扑信息和网络负载信息，采用约束最短路径优先 (CSPF) 算法计算满足约束条件的路径。CSPF 是一种改进的最短路径优先算法，在计算通过网络的最短路径时将特定的约束条件也考虑进去，首先在当前网络拓扑结构中删除不满足约束条件的节点和链路，然后再根据 SPF 算法计算最短路径。这里，特定的约束条件主要包括带宽需求、最大跳转数，和管理策略需求等。

信令单元 104 用于动态地建立 LSP。信令单元动态地建立 LSP 可以避免逐跳配置的麻烦。普通的不带约束的 LSP 可以通过标签分发协议 (LDP) 来建立，而带约束的 LSP 可以通过约束标签分发协议 (CR-LDP) 或者资源预留协议流量工程 (RSVP TE) 来建立。

如图 2 所示，图 2 为采用 MPLS TE 中的 CSPF 算法选择路径的示意图。假定所有带宽为 1G 的链路的路由量度值 (Metric) 都相同，所有带宽为 155M 的链路的 Metric 也都相同，且已经建立了路由器 R1 到 R5 优先级为 0 的高优先级 LSP1: R1→R2→R5，LSP1 占用的带宽为 155M，还建立了路由器 R3 到 R6 优先级为 2 的低优先级 LSP2: R3→R2→R6，LSP2 占用的带宽也为 155M。

当路由器 R2 与 R5 之间链路发生故障时，LSP1 的头端路由器 R1 采用 MPLS TE 中的 CSPF 算法将 LSP1 重建为：R1→R2→R6→R5。由于路由器 R2 与 R6 之间链路的带宽只有 155M，因此 LSP2 中路由器 R2 与 R6 之间的链路被新建

的 LSP1 抢占, LSP2 的头端路由器 R3 采用 MPLS TE 中的 CSPF 算法将 LSP2 重建为: R3→R4→R5→R6。这样, LSP2 中路由器 R2 与 R6 之间的链路被抢占, LSP2 需要重建, LSP2 上的流量也被迫中断, 网络因此而变得不稳定。

虽然采用 MPLS-TE 中的 CSPF 算法选择路径可以在一定程度上解决网络流量分布不均衡的问题, 但是由于 MPLS-TE 中的 CSPF 算法忽视了选择路径时是否需要抢占其他 LSP 中的链路以及抢占其他 LSP 中链路的数量, 被抢占的 LSP 又可能去抢占其他更低优先级 LSP 中的链路, 所以采用 MPLS-TE 中的 CSPF 算法选择路径经常会带来以下问题:

1、在不需要抢占其他 LSP 中的链路时发生了抢占, 导致整个网络中链路的利用率降低;

2、在需要抢占其他 LSP 中的链路时抢占链路的数量不是最少, 被抢占 LSP 的优先级不是最低, 被抢占的 LSP 再去抢占其他更低优先级 LSP 中的链路, 低优先级 LSP 频繁被建立与抢占, 低优先级 LSP 的流量也频繁被中断, 导致网络动荡和不稳定。

发明内容

有鉴于此, 本发明的主要目的在于提供一种选择路径的方法, 以提高链路的利用率和网络的稳定性。

为达到上述目的, 本发明提供了一种选择路径的方法, 包括以下步骤:

A、起始路由器判断是否存在不需要抢占其他标签交换路径 LSP 的路径, 如果存在, 则执行步骤 B; 否则, 执行步骤 C;

B、在不需要抢占其他 LSP 的路径中选择一条路径, 并结束本流程;

C、在需要抢占其他 LSP 的路径中选择等效抢占 LSP 数量最少的链路所在的路径。

上述方案中, 步骤 A 中所述判断是否存在不需要抢占其他 LSP 的路径为: 起始路由器判断自身与目的路由器之间是否至少存在一条全部链路上可用带宽

资源都能够满足新业务流量需要的路径。

上述方案中，步骤 B 中所述在不需要抢占其他 LSP 的路径中选择一条路径包括：在不需要抢占其他 LSP 的路径中选择一条链路利用率最低的路径。

上述方案中，所述在不需要抢占其他 LSP 的路径中选择一条链路利用率最低的路径包括：

B1、在每条不需要抢占其他 LSP 的路径中选择一条指标最差的链路，所述指标最差的链路为链路负载率 $F(\text{link}(uv))$ 最大的链路，所述 $F(\text{link}(uv)) = (SB+UB(uv))/RB(uv)$ ，其中， $RB(uv)$ 表示链路 $\text{link}(uv)$ 上的预留总带宽， $UB(uv)$ 表示链路 $\text{link}(uv)$ 上的已经被占用的总带宽， SB 表示新建 LSP 所需的带宽；

B2、将选择的指标最差的链路构成一个集合，在指标最差的链路构成的集合中选择一条指标最优的链路，所述指标最优的链路为所述指标最差的链路构成的集合中 $F(\text{link}(uv))$ 最小的链路；

B3、将选择的指标最优的链路作为链路利用率最低的链路，选择该链路所在的路径。

上述方案中，步骤 B1 中所述 $F(\text{link}(uv))$ 值最大的链路同时存在多条，该方法进一步包括：计算并比较 $F(\text{link}(uv))$ 值最大链路的 $(RB-SB-UB)$ 值，选择 $(RB-SB-UB)$ 值最小的链路作为指标最差的链路。

上述方案中，所述 $(RB-SB-UB)$ 值最小的链路同时存在多条，该方法进一步包括：在所述多条 $(RB-SB-UB)$ 值最小的链路中，随机选择一条链路作为指标最差的链路。

上述方案中，所述步骤 B2 中 $F(\text{link}(uv))$ 值最小的链路同时存在多条，该方法进一步包括：计算并比较 $F(\text{link}(uv))$ 值最小链路的 $(RB-SB-UB)$ 值，选择 $(RB-SB-UB)$ 值最大的链路作为指标最优的链路。

上述方案中，所述 $(RB-SB-UB)$ 值最大的链路同时存在多条，该方法进一步包括：在所述多条 $(RB-SB-UB)$ 值最大链路所属的路径中，分别剔除各

自包含的所述 (RB-SB-UB) 值大的链路, 并再次执行步骤 B1 和 B2, 直至选择出一条指标最优的链路。

上述方案中, 所述在剔除各自包含的所述 (RB-SB-UB) 值大的链路的过程中, 某条路径中的链路被全部剔除, 步骤 B3 中选择的路径为所述链路被全部剔除的路径。

上述方案中, 步骤 B 中所述在不需要抢占其他 LSP 的路径中选择一条路径包括: 在不需要抢占其他 LSP 的路径中选择一条链路数量最少的路径。

上述方案中, 所述在不需要抢占其他 LSP 的路径中选择一条链路数量最少的路径包括:

B1'、在不需要抢占其他 LSP 的路径中计算每条路径所包含链路的数量;

B2'、比较计算出的每条路径所包含链路的数量, 选择链路数量最少的路径。

上述方案中, 步骤 B2' 中所述链路数量最少的路径同时存在多条, 该方法进一步包括: 将链路数量最少的路径构成一个集合, 假设 $P(\text{path}(u)) = F(\text{link}(u_1)) + F(\text{link}(u_2)) + \dots + F(\text{link}(u_n))$, 其中 $F(\text{link}(uv)) = (SB + UB(uv)) / RB(uv)$, 根据公式 $P(\text{path}(u)) = F(\text{link}(u_1)) + F(\text{link}(u_2)) + \dots + F(\text{link}(u_n))$ 计算该集合中每条路径的 $P(\text{path}(u))$ 值, 选择 $P(\text{path}(u))$ 值最小的路径。

上述方案中, 所述 $P(\text{path}(u))$ 值最小的路径同时存在多条, 该方法进一步包括: 在所述多条 $P(\text{path}(u))$ 值最小的路径中随机选择一条路径。

上述方案中, 所述步骤 C 包括:

C1、对内部路由网关协议 IGP 进行扩展, 在每条需要抢占其他 LSP 的路径中选择一条指标最差的链路, 所述指标最差的链路为等效抢占 LSP 数量 $E(\text{link}(uv))$ 最大的链路;

C2、将选择的指标最差的链路构成一个集合, 在指标最差的链路构成的集合中选择一条指标最优的链路, 所述指标最优的链路为所述指标最差的链路构

成的集合中 $E(\text{link}(uv))$ 值最小的链路;

C3、将选择的指标最优的链路作为等效抢占 LSP 数量最少的链路, 选择该链路所在的路径。

上述方案中, 所述路径为点到点的单播路径, 所述步骤 C1 包括:

C11、在 IGP 的中间系统到中间系统 IS-IS 协议中引入新的类型长度值 TLV, 或者在 IGP 的开放最短路径优先 OSPF 协议中引入新的链路状态通告 LSA, 在新引入的 TLV 或 LSA 中存放每条链路上 LSP 的数量、优先级别和带宽级别信息;

C12、假设 $E(\text{link}(uv))$ 与 $LSP(uvrt)$ 之间的关系式, 其中 $E(\text{link}(uv))$ 表示某条链路上等效抢占 LSP 的数量, $LSP(uvrt)$ 表示路径 u 上第 v 条链路的优先级别为 r 带宽级别为 t 的 LSP 被抢占的数量; 将每条链路上 LSP 的数量、优先级别和带宽级别信息代入所述 $E(\text{link}(uv))$ 与 $LSP(uvrt)$ 之间的关系式, 计算每条链路的 $E(\text{link}(uv))$ 值;

C13、在每条需要抢占其他 LSP 的路径中比较每条链路 $E(\text{link}(uv))$ 值的大小, 将 $E(\text{link}(uv))$ 值最大的链路作为该路径中指标最差的链路。

上述方案中, 所述路径为点到多点的组播路径, 所述步骤 C1 包括:

C11'、在 IGP 的 IS-IS 协议中引入新的 TLV, 或者在 IGP 的 OSPF 协议中引入新的 LSA, 在新引入的 TLV 或 LSA 中存放每条链路上 LSP 的数量、优先级别、带宽级别和组播组地址信息;

C12'、假设 $E(\text{link}(uv))$ 与 $LSP(uvrt)$ 之间的关系式, 其中 $E(\text{link}(uv))$ 表示某条链路上等效抢占 LSP 的数量, $LSP(uvrt) = LSPs(uvrt) + LSPM1(uvrt) + LSPM2(uvrt) + \dots + LSPMn(uvrt)$, $LSPs(uvrt)$ 表示路径 u 上第 v 条链路的优先级别为 r 带宽级别为 t 的单播 LSP 被抢占的数量, $LSPMn(uvrt)$ 表示路径 u 上第 v 条链路的优先级别为 r 带宽级别为 t 的组播路径 n 被抢占的数量; 将每条链路上 LSP 的数量、优先级别、带宽级别和组播组地址信息代入所述 $E(\text{link}(uv))$ 与

LSP(uvrt)之间的关系式，计算每条链路的 $E(\text{link}(uv))$ 值；

C13'、在每条需要抢占其他 LSP 的路径中比较每条链路 $E(\text{link}(uv))$ 值的大小，将 $E(\text{link}(uv))$ 值最大的链路作为该路径中指标最差的链路。

上述方案中，步骤 C1 中所述 $E(\text{link}(uv))$ 值最大的链路同时存在多条，该方法进一步包括：计算并比较同时存在的多条 $E(\text{link}(uv))$ 值最大的链路上所有被抢占的 LSP 数量的总和，选择所有被抢占 LSP 数量总和最大的链路作为指标最差的链路。

上述方案中，所述被抢占的 LSP 数量的总和最大的链路同时存在多条，该方法进一步包括：在所述多条被抢占的 LSP 数量的总和最大的链路中随机选择一条链路作为指标最差的链路。

上述方案中，所述步骤 C2 中 $E(\text{link}(uv))$ 值最小的链路同时存在多条，该方法进一步包括：计算并比较多条 $E(\text{link}(uv))$ 值最小链路被抢占 LSP 数量总和的大小，选择一条被抢占 LSP 数量总和最小的链路作为指标最优的链路。

上述方案中，所述被抢占的 LSP 数量的总和最小的链路同时存在多条，该方法进一步包括：在多条被抢占的 LSP 数量的总和最小链路所属的路径中，分别剔除各自包含的所述被抢占的 LSP 数量的总和最小的链路，并再次执行步骤 C1 和 C2，直至选择出一条指标最优的链路。

上述方案中，所述在剔除各自包含的所述被抢占的 LSP 数量的总和最小的链路的过程中，某条路径中的链路被全部剔除，步骤 C3 中选择的路径为所述链路被全部剔除的路径。

因此，本发明提供的这种选择路径的方法，通过判断是否存在不需要抢占其他 LSP 的路径，如果存在，则起始路由器选择不需要抢占其他 LSP 的路径中的路径；否则，起始路由器在需要抢占其他 LSP 的路径中选择等效抢占 LSP 数量最少的链路所在的路径。

利用本发明，在不需要抢占其他 LSP 中的链路时，起始路由器选择不需要抢占其他 LSP 的路径中的路径，避免了在不需要抢占其他 LSP 中的链路时发生抢占。因此，本发明一方面提高了整个网络的稳定性，另一方面也使整个网络

的流量分布趋于均衡，大大提高了整个网络中链路的利用率。另外，在不需要抢占其他 LSP 中的链路时，路由器进一步选择不需要抢占的 LSP 中链路利用率最低的路径，或者进一步选择不需要抢占其他 LSP 中链路数量最少的路径，进一步使整个网络的流量分布趋于均衡，并且进一步提高了整个网络中链路的利用率和整个网络的稳定性。

利用本发明，在需要抢占其他 LSP 中的链路时，对于选择点到点的单播路径，综合考虑了被抢占的 LSP 优先级别和被抢占 LSP 中被抢占的链路数量两方面的因素；对于选择点到多点的组播路径，不但综合考虑了被抢占的 LSP 优先级别和抢占链路上抢占 LSP 数量两方面的因素，而且还考虑了抢占链路所处组播路径在抢占链路下游所拥有的分支链路的数量，以及抢占链路是否与已建立的属于同一组播路径的链路发生重合两方面的因素。这样一来，使被抢占的 LSP 不可能再去抢占其他 LSP 中的链路，解决了低优先级 LSP 频繁被建立与抢占，低优先级 LSP 的流量也频繁被中断的问题，所以本发明大大提高了网络的稳定性。

附图说明

图 1 为 MPLS TE 结构示意图；

图 2 为采用 MPLS TE 中的 CSPF 算法选择路径的示意图；

图 3 为本发明选择路径总体技术方案的实现流程图；

图 4 为单播情况下选择等效抢占 LSP 数量最少的链路所在路径的示意图；

图 5 为组播情况下选择等效抢占 LSP 数量最少的链路所在路径的示意图；

图 6 为本发明选择等效抢占 LSP 数量最少链路所在路径的方法流程图；

图 7 为本发明在不需要抢占其他 LSP 的路径中选择链路利用率最低的路径的方法流程图；

图 8 为本发明在不需要抢占其他 LSP 的路径中选择链路数量最少的路径的方法流程图。

具体实施方式

为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白，以下举实施例，并参照附图，对本发明进一步详细说明。

本发明的核心内容是：通过判断是否存在不需要抢占其他 LSP 的路径，如果存在，则起始路由器选择不需要抢占其他 LSP 的路径中的路径；否则，起始路由器在需要抢占其他 LSP 的路径中选择等效抢占 LSP 数量最少的链路所在的路径。

如图 3 所示，图 3 为本发明选择路径总体技术方案的实现流程图，该方法包括以下步骤：

步骤 301：起始路由器判断是否存在不需要抢占其他 LSP 的路径，如果存在，则执行步骤 302；否则，执行步骤 303；

步骤 302：选择不需要抢占其他 LSP 的路径中的路径，并结束本流程；

步骤 303：在需要抢占其他 LSP 的路径中选择等效抢占 LSP 数量最少的链路所在的路径。

上述步骤 301 判断是否存在不需要抢占其他 LSP 的路径，是起始路由器判断自身与目的路由器之间是否至少存在一条全部链路上可用带宽资源都能够满足新业务流量需要的路径，如果是，则存在不需要抢占其他 LSP 的路径，起始路由器也不需要抢占其他 LSP 中的链路；否则，不存在不需要抢占其他 LSP 的路径，起始路由器需要抢占其他 LSP 中的链路。

即如果在起始路由器与目的路由器之间至少存在一条路径，该路径中每条链路上可用的带宽资源都能够满足新业务流量的需要，则起始路由器判定在起始路由器与目的路由器之间存在不需要抢占其他 LSP 的路径。如果在起始路由器与目的路由器之间不存在如下所述的一条路径，该路径中每条链路上可用的带宽资源都能够满足新业务流量的需要，则起始路由器判定在起始路由器与目的路由器之间不存在不需要抢占其他 LSP 的路径。

在上述步骤 302 中，为了使网络流量分布趋于均衡，并提高整个网络中链

路的利用率，在存在不需要抢占其他 LSP 的路径时，起始路由器在不需要抢占其他 LSP 的路径中选择一条路径。另外，作为本发明技术方案的优化，为使网络流量分布更加趋于均衡，并进一步提高整个网络中链路的利用率，在存在不需要抢占其他 LSP 的路径时，起始路由器在不需要抢占其他 LSP 的路径中选择一条链路利用率最低的路径，或者选择一条链路数量最少的路径。

由于 LSP 一般有 0、1、...、7 等八个优先级别，且优先级从 0 到 7 依次递减，优先级别高的 LSP 中的链路被抢占以后，将会抢占其他优先级别比自身低的 LSP 中的链路，引起网络的动荡和不稳定。因此，为使起始路由器在抢占其他 LSP 中的链路后，被抢占的 LSP 不再去抢占其他的 LSP，降低对整个网络稳定性的影响，提高网络的稳定性，起始路由器应优先选择优先级别最低的 LSP 中的链路来抢占。

由于在不同的 LSP 中起始路由器需要抢占的链路的数量可能是不同的，每条被抢占链路又可能同时属于多条 LSP，起始路由器需要抢占的链路所属 LSP 的数量越多，抢占 LSP 的数量也就越多，进而对整个网络稳定性的影响也就越大。因此，为降低对整个网络稳定性的影响，提高网络的稳定性，起始路由器还应该优先选择抢占链路上抢占 LSP 数量最少的链路所在的路径来抢占。

上述步骤 303 在需要抢占其他 LSP 的路径中选择等效抢占 LSP 数量最少的链路所在的路径时，对于选择点到点的单播路径，需要综合考虑上述被抢占的 LSP 优先级别和抢占链路上抢占 LSP 数量两方面的因素。对于选择点到多点的组播路径，不但需要综合考虑上述被抢占的 LSP 优先级别和抢占链路上抢占 LSP 数量两方面的因素，而且还需要考虑以下两方面的因素：

一、抢占链路所处组播路径在抢占链路下游所拥有的分支链路的数量。

如果在某个链路的某个优先级别某个带宽级别上存在有多条 LSP，且算法已经计算出只需抢占一部分 LSP，则对于组播路径起始路由器应优先选择在抢占链路下游拥有分支链路数量最少的组播路径来抢占；对于单播路径，由于下游拥有分支链路数量为 0，所以可以随便抢占一条。

对于组播路径，由于选择抢占链路所处的组播路径后，该组播路径下游分

支链路上的业务也将被迫中断，所以，如果抢占链路所处组播路径在抢占链路下游所拥有的分支链路的数量越多，则业务被迫中断的链路也将越多，这样对整个网络稳定性的影响也将越严重。因此，为降低对整个网络稳定性的影响，提高网络的稳定性，起始路由器应优先选择在抢占链路下游拥有分支链路数量最少的组播路径来抢占。

二、抢占链路是否与已建立的属于同一组播路径的链路发生重合。

如果抢占链路已与建立的属于同一组播路径的链路发生重合，则可以直接接收重合链路传输的组播数据，重合链路上抢占 LSP 数量为 0，即在重合链路并没有发生抢占。因此，起始路由器应该优先选择抢占链路已与建立的属于同一组播路径的链路发生重合的组播路径。

链路上等效抢占 LSP 的数量可以通过 $E(\text{link}(uv))$ 与 $LSP(uvrt)$ 之间的关系式计算得出， $E(\text{link}(uv))$ 与 $LSP(uvrt)$ 之间的关系式如下：

$$E(\text{link}(uv)) = (1/127)(LSP(uv71)/(1+2+\dots+2^{(t-1)})+\dots+LSP(uv7t)*2^{(t-1)}/(1+2+\dots+2^{(t-1)})) \\ + (2/127)(LSP(uv61)/(1+2+\dots+2^{(t-1)})+\dots+LSP(uv6t)*2^{(t-1)}/(1+2+\dots+2^{(t-1)})) \\ + \dots \\ + (64/127)(LSP(uv11)/(1+2+\dots+2^{(t-1)})+\dots+LSP(uv1t)*2^{(t-1)}/(1+2+\dots+2^{(t-1)}))$$

其中， $E(\text{link}(uv))$ 表示某条链路上等效抢占 LSP 的数量，对于选择点到点的单播路径， $LSP(uvrt)$ 表示路径 u 上第 v 条链路的优先级别为 r 带宽级别为 t 的 LSP 被抢占的数量；对于选择点到多点的组播路径， $LSP(uvrt) = LSP_s(uvrt) + LSP_{M1}(uvrt) + LSP_{M2}(uvrt) + \dots + LSP_{Mn}(uvrt)$ ，其中， $LSP_s(uvrt)$ 表示路径 u 上第 v 条链路的优先级别为 r 带宽级别为 t 的单播 LSP 被抢占的数量， $LSP_{Mn}(uvrt)$ 表示路径 u 上第 v 条链路的优先级别为 r 带宽级别为 t 的组播路径 n 被抢占的数量。

以下结合单播和组播两种情况，详细说明起始路由器在需要抢占其他 LSP 的路径中选择等效抢占 LSP 数量最少的链路所在的路径。

一、对于选择点到点的单播路径，选择抢占链路上等效抢占 LSP 数量最少的链路所在的路径。

如图 4 所示，图 4 为单播情况下选择等效抢占 LSP 数量最少的链路所在路径的示意图。假设存在有路径 1: A→B→E→C 和路径 2: A→D→E→C 两条路径，以下分别对路径 1 和路径 2 进行考察：

对于路径 1 而言，假设路径 1 中链路 AB 和 EC 需要从其他 LSP 中抢占，且链路 AB 同属于 3 条 LSP，其中 1 条为优先级别为 1 带宽级别为 3 的 LSP，另外 2 条为优先级别为 3 带宽级别为 2 的 LSP，被抢占的 LSP 共有 1K、2K 和 4K 三种带宽级别，则根据上述单播情况下 $E(\text{link}(uv))$ 与 $LSP(uvrt)$ 之间的关系式可以计算得出链路 AB 上等效抢占 LSP 的数量为： $E(\text{link}(uv)) = (64/127)(2^{(3-1)}/(1+2+4)) + (16/127)((2^{(2-1)} + 2^{(2-1)})/(1+2+4)) = 0.36$ 。

假设链路 EC 同时属于 2 条 LSP，其中一条为优先级别为 2 带宽级别为 3 的 LSP，另外一条为优先级别为 3 带宽级别为 2 的 LSP，则根据上述单播情况下 $E(\text{link}(uv))$ 与 $LSP(uvrt)$ 之间的关系式可以计算得出链路 EC 上等效抢占 LSP 的数量为： $E(\text{link}(uv)) = (32/127)(2^{(3-1)}/(1+2+4)) + (16/127)((2^{(2-1)})/(1+2+4)) = 0.18$ 。

比较计算得出的 $E(\text{link}(uv))$ 值，选择 $E(\text{link}(uv))$ 值较大的链路，即在路径 1 中选择的链路为 AB。

对于路径 2 而言，假设在路径 2 中链路 AD、DE 和 EC 都需要从其他 LSP 中抢占，根据各链路所属 LSP 及上述 $E(\text{link}(uv))$ 与 $LSP(uvrt)$ 之间的关系式分别计算链路 AD、DE 和 EC 的 $E(\text{link}(uv))$ 值，然后比较链路 AD、DE 和 EC 的 $E(\text{link}(uv))$ 值，选择 $E(\text{link}(uv))$ 值最大的链路。在本实施例中假设在路径 2 中选择的链路为 DE。

对上述路径 1 和路径 2 都选择出 $E(\text{link}(uv))$ 值最大，即指标最差的链路以后，再次在选择出的链路中比较各链路的 $E(\text{link}(uv))$ 值，选择 $E(\text{link}(uv))$ 值最小的链路所在的路径。在本实施例中，即在路径 1 中选择链路 AB 和在路径 2 中选择链路 DE 以后，再次比较链路 AB 和 DE 的 $E(\text{link}(uv))$ 值，选择链路 EC 和 DE 中 $E(\text{link}(uv))$ 值较小的链路所在的路径。

根据上述方式针对点到点的单播路径选择出的抢占链路上等效抢占 LSP 数

量最少的链路所在的路径，即为综合考虑了被抢占的 LSP 优先级别和抢占链路上抢占 LSP 数量两方面因素的路径。

在针对点到点的单播路径选择抢占链路上等效抢占 LSP 数量最少的链路所在的路径时，利用了链路上 LSP 的数量、优先级别和带宽级别信息，该信息在现有的 IGP 协议中并没有公布。因此，为了使路由器在需要抢占其他 LSP 中的链路时，能够根据链路上 LSP 的数量、优先级别和带宽级别信息，选择等效抢占 LSP 数量最少的链路所在的路径，本发明进一步对 MPLS TE 结构中的信息发布单元的功能进行增强，对现有的 IGP 协议进行扩展，用于发布链路上 LSP 的数量、优先级别和带宽级别信息。

在对现有 IGP 协议进行扩展时，由于 IGP 协议主要包括 IS-IS 协议和 OSPF 协议，所以一般是在 IS-IS 协议中引入新的 TLV，或者在 OSPF 协议中引入新的 LSA，在新引入的 TLV 或 LSA 中存放链路上 LSP 的数量、优先级别和带宽级别信息。

二、对于选择点到多点的组播路径，选择抢占链路上等效抢占 LSP 数量最少的链路所在的路径。

如图5所示，图5为组播情况下选择等效抢占LSP数量最少的链路所在路径的示意图。假设有6个标记交换路由器（LSR）：LSR1、LSR2、LSR3、LSR4、LSR5和LSR 6，链路1、链路2和链路5上的带宽为16M，链路3、链路4和链路6的带宽为32M，且已经建立了如下4条优先级别为r带宽级别为t组播路径：

LSP1: LSR1 → LSR2 → LSR4 ，组播组地址为D1，占用带宽为16M，如图中“—”所示路径；

LSP2: LSR1 → LSR3 → LSR6，组播组地址为D2，占用带宽为16M，如图中“- - -”所示路径；

LSP3: LSR1 → LSR3 $\begin{cases} \rightarrow \text{LSR5} \\ \rightarrow \text{LSR6} \end{cases}$ ，组播组地址为D3，占用带宽为16M，如图中“- · - · -”所示路径；

LSP4: LSR2→LSR5, 单播LSP, 占用带宽为16M, 如图中“···”所示路径。

现在LSR5想要加入组播组地址为D1的组播, 所需带宽为16M, LSR1根据TED中保存的信息找到两条都需要抢占链路的候选路径LSP5和LSP6, 其中LSP5: LSR1→LSR2→LSR5, 如图中“—”所示路径; LSP6: LSR1→LSR3→LSR5, 如图中“-·-”所示路径。以下分别对LSP5和LSP6进行考察:

对于LSP5而言, LSP5由链路1和链路2构成, 由于链路1属于组播组地址D1, 是一个已建好的可以共用的链路, 所以, 在链路1上不发生抢占。由于链路2的带宽为16M, 链路2上有一个占用带宽为16M的单播LSP4, 所以, 需要抢占LSP4中的链路2。因此, 在LSP5中链路2为指标最差的链路。

对于LSP6而言, LSP6由链路3和链路4构成, 由于链路4的带宽为32M, 链路4被路径LSP3占用了16M, 剩余的可用带宽为 $32-16=16$ M, 能够满足LSR5加入组播组地址为D1的组播的带宽需求, 所以, 在链路4上不发生抢占。由于链路3的带宽为32M, 链路3被路径LSP2和LSP3分别占用了16M, 剩余的可用带宽为0, 所以, 需要抢占LSP2或LSP3中的链路3。

在选择抢占LSP2或LSP3时, 由于LSP2在链路3的下游有1个分支节点LSR6, LSP3在链路3的下游有2个分支节点LSR5和LSR6, 如果抢占LSP2中的链路3, 则等效抢占链路的数量为 $2=1$ (链路3本身)+ 1 (链路3的下游链路6); 如果抢占LSP3中的链路3, 则等效抢占链路的数量为 $3=1$ (链路3本身)+ 2 (链路3的下游链路5和链路6)。因此, 为了尽量减少抢占对组播下游链路造成的影响, 选择抢占LSP2中的链路3。当然, 此时已确定在LSP6中链路3为指标最差的链路。

对上述LSP5和LSP6都选择出指标最差的链路后, 再次在选择出的链路中比较各链路的 $E(\text{link}(uv))$ 值, 选择 $E(\text{link}(uv))$ 值最小的链路所在的路径。

对于链路2和链路3, 由于链路2需要抢占一个占用带宽为16M的单播LSP, 其等效抢占链路的数量为1; 而链路3需要抢占一个组播路径LSP2, 其等效抢占链路的数量为2, 所以, 选择等效抢占链路的数量少的链路所在的路径, 即选择链路2所在的路径LSP4来抢占。

根据上述方式针对点到多点的组播路径选择出的抢占链路上等效抢占 LSP 数量最少的链路所在的路径，不但综合考虑了被抢占的 LSP 优先级别和抢占链路上抢占 LSP 数量两方面的因素，而且考虑了抢占链路所处组播路径在抢占链路下游所拥有的分支链路的数量，以及抢占链路是否与已建立的属于同一组播路径的链路发生重合两方面的因素。

在上述针对点到多点的组播路径选择抢占链路上等效抢占 LSP 数量最少的链路所在的路径时，除了增加发布链路上 LSP 的数量、优先级别和带宽级别信息，还需要增加发布链路上每条 LSP 对应的组播组地址信息。链路上每条 LSP 对应的组播组地址信息，也被存放在对现有 IGP 协议进行扩展时在 IS-IS 协议中引入新的 TLV，或者在 OSPF 协议中引入新的 LSA 中。

此时，信息发布组件公布的信息增多，各节点流量工程数据库（TED）为维护这些公布的信息需要耗费更多的内存。为了减少内存的消耗，本发明定义了允许链路上组播 LSP 的最大个数 N ，由 N 来限制信息发布的数量和 TED 中表项的规模。在选择候选路径时， N 作为一个约束条件，当链路上组播 LSP 的个数大于等于 N 时，该链路所在的候选路径将直接被剔除。

该另外，定义允许链路上组播 LSP 的最大个数 N 还可以自然地分散网络中业务流量，使网络中的业务分散，满足流量工程的特点和需求。

为了能够更加清楚地说明本发明提供的这种选择路径的方法，以下结合具体的实施例并参照附图，分别对在需要抢占时起始路由器选择路径的方法，以及在不需要抢占时起始路由器选择路径的方法进行详细说明。

假设系统允许最多有 t 个带宽级别， t 越大带宽值越高。假设满足约束的所有路径为 $path(1)$ 、 $path(2)$ 、...、 $path(u)$ 、...、 $path(g)$ ， $path(u)$ 包括 v 条链路，分别为 $link(u1)$ 、 $link(u2)$ 、...、 $link(uv)$ ，其中 $1 \leq u \leq g$ ，且 t 、 u 、 v 和 g 均为自然数。假设 $RB(uv)$ 表示链路 $link(uv)$ 上的预留总带宽， $UB(uv)$ 表示链路 $link(uv)$ 上的已经被占用的总带宽， SB 表示新建 LSP 所需的带宽。

如图 6 所示，图 6 为本发明选择等效抢占 LSP 数量最少链路所在路径的方法流程图，该方法包括以下步骤：

步骤 601:根据 LSP 的优先级别和带宽级别确定需要抢占其他 LSP 的路径。

对于点到点的单播路径,具体确定需要抢占其他 LSP 的路径的方法如下:

假设单播情况下 $E(\text{link}(uv))$ 与 $LSP(uvrt)$ 之间的关系式为:

$$E(\text{link}(uv)) = (1/127)(LSP(uv71)/(1+2+\dots+2^{(t-1)})+\dots+LSP(uv7t)*2^{(t-1)}/(1+2+\dots+2^{(t-1)})) \\ + (2/127)(LSP(uv61)/(1+2+\dots+2^{(t-1)})+\dots+LSP(uv6t)*2^{(t-1)}/(1+2+\dots+2^{(t-1)})) \\ + \dots \\ + (64/127)(LSP(uv11)/(1+2+\dots+2^{(t-1)})+\dots+LSP(uv1t)*2^{(t-1)}/(1+2+\dots+2^{(t-1)}))$$

其中, $E(\text{link}(uv))$ 表示某条链路上等效抢占 LSP 的数量, $LSP(uvrt)$ 表示路径 u 上第 v 条链路的优先级别为 r 带宽级别为 t 的 LSP 被抢占的数量。

1)、首先对所有 LSP 依照用于带宽资源抢占的优先级,分别对各优先级中的所有 LSP 按占用带宽的大小排序,形成如下式表示的数量关系:

$$W_i = WLSP_{i1} + WLSP_{i2} + WLSP_{i3} + \dots + WLSP_{in},$$

$$WLSP_{i1} \geq WLSP_{i2} \geq WLSP_{i3} \dots \geq WLSP_{in},$$

其中, W_i 表示优先级 i 中所有 LSP 占用的带宽和, $WLSP_{i1}$ 、 $WLSP_{i2}$ 、 $WLSP_{i3}$ 、 \dots 、 $WLSP_{in}$ 表示优先级 i 中各 LSP 占用的带宽,执行抢占 LSP 的带宽需求为 $PW = SB - (RB - UB)$, n 为优先级 i 中含有的总的 LSP 数量。

2)、找出一个最大的 j ,使得 $W_7 + W_6 + \dots + W_j \geq PW$,其中 j 大于等于 k , k 为能抢占的最高的优先级别;如果未能找到 j ,执行步骤 7);否则,继续执行步骤 3);

3)、如果 $W_7 + W_6 + \dots + W_j = PW$,则优先级 7 直至优先级 j 中所有的 LSP 都被抢占,并执行步骤 7);否则,假设 $PW_j = PW - (W_7 + W_6 + \dots + W_{(j+1)})$,得到 j 的伪代码算法如下:

```
sum = 0;
for(i=7; i >= 0; i--)
{
    sum = sum + Wi;
    if(sum >= PW)
    {
```

```

        j = i;
        算法完成;
    }
}

```

4)、在优先级 j 中选择要抢占的 LSP。

找出一个最小的 m, 使得 $WLSP_{j1} + WLSP_{j2} + \dots + WLSP_{jm} \geq PW_j$, 如果 $WLSP_{j1} + WLSP_{j2} + \dots + WLSP_{jm} = PW_j$, 则优先级 7 直至优先级 j+1 中所有的 LSP 和优先级 j 中的 LSP $WLSP_{j1}$ 、 $WLSP_{j2}$ $WLSP_{jm}$ 被抢占, 执行步骤 7); 否则, 在优先级 i 中, 选择 m 条 LSP, 使得这 m 条 LSP 占用的带宽之和是其他任意 m 条占用的带宽之和大于 PW_j 值中的最小值, 记录该最小值为 FW_s ; 如果 $FW_s = PW_j$, 则优先级 7 直至优先级 j+1 中所有的 LSP 和优先级 j 中的上述 m 条 LSP 被抢占, 执行步骤 7); 否则, 上述 m 条 LSP 被抢占。

假设 $FW = FW_s - PW_j$, $N = j+1$, 得到 m 的伪代码算法如下:

```

sum = 0;
for(i=1; i <= n; i++)
{
    sum = sum + WLSPji;
    if(sum >= PWj)
    {
        m = i;
        算法完成;
    }
}

```

5)、在优先级 N 中选择要抢占的 LSP。

找出一个最小的 q, 使得 $WLSP_{(j+1)n} + WLSP_{(j+1)(n-1)} + \dots + WLSP_{(j+1)q} \leq FW$ 。如果不能得到 q, 则优先级 j+1 中的所有 LSP 都被抢占, 转入 4); 否则, 如果 $WLSP_{(j+1)n} + WLSP_{(j+1)(n-1)} + \dots + WLSP_{(j+1)q} = FW$, 则优先级 7 直至 j+2 中的所有 LSP 和优先级 j+1 中占用带宽为 $WLSP_{(j+1)1}$ 、 $WLSP_{(j+1)2}$ 、... ..

WLSP(j+1)(q-1)的 LSP 被抢占, 执行步骤 7); 否则, 在优先级 N 中, 选择 q 条 LSP, 使得这 q 条 LSP 占用的带宽之和是其他任意 q 条占用的带宽之和小于 FW 值的 LSP 中的带宽和最大, 并记录最大值为 FWr; 在优先级 N 中除这 q 条 LSP 外, 其它所有 LSP 都被抢占。

假设 $FW = FW - Fwr$, 得到 j 的伪代码算法如下:

```

if(WLSP(j+1)n > FW)
{
    得不到 q 值, 退出;
}
q = n;
sum = WLSP(j+1)n;
for(i=n-1; i >= 0; i--)
{
    sum = sum + WLSP(j+1)i;
    if(sum > PW)
    {
        q 值已确定, 算法完成;
    }
    else
    {
        q = i;
    }
}

```

6)、 $N=N+1$ 。若 $N \leq 7$, 执行步骤 2); 否则, 执行步骤 7)。

7)、结束。

对于点到点的单播路径, 根据上述算法可以确定需要抢占其他 LSP 的路径。但是, 对于点到多点的组播路径应结合以下规则来确定需要抢占其他 LSP 的路径。具体规则如下:

如果在某个链路某个优先级别某个带宽级别的LSP中,只抢占LSP中的部分链路,则这条LSP与其他LSP相比在抢占链路数据流下游所拥有分支链路的数量最少。对于点到点的单播路径,可以认为其抢占链路数据流下游所拥有分支链路的数量为0,所以单播链路就不用考虑这一点。这样做的目的是尽量避免拥有较多分支的组播LSP被抢占,因为它的重新建立无疑会给网络带来更大不稳定性。

步骤 602: 对 IGP 协议进行扩展。

在对 IGP 协议进行扩展时,一般是在 IS-IS 协议中引入新的 TLV,或者在 OSPF 协议中引入新的 LSA。

对于点到点的单播路径,在新引入的 TLV 或 LSA 中存放链路上 LSP 的数量、优先级别和带宽级别信息。对于点到多点的组播路径,在新引入的 TLV 或 LSA 中不但存放链路上 LSP 的数量、优先级别和带宽级别信息,而且存放链路上每条 LSP 对应的组播组地址信息。

步骤 603: 在每条需要抢占其他 LSP 的路径中选择一条指标最差的链路。

对于点到点的单播路径,将增加的链路上 LSP 的数量、优先级别和带宽级别信息代入上述单播情况下 $E(\text{link}(uv))$ 与 $LSP(uvrt)$ 之间的关系式,计算每条路径上每条链路的 $E(\text{link}(uv))$ 值,比较每条链路 $E(\text{link}(uv))$ 值的大小,选择每条路径中 $E(\text{link}(uv))$ 值最大的链路作为指标最差的链路;其中 $E(\text{link}(uv))$ 表示某条链路上等效抢占 LSP 的数量, $LSP(uvrt)$ 表示路径 u 上第 v 条链路的优先级别为 r 带宽级别为 t 的 LSP 被抢占的数量。

对于点到多点的组播路径,将增加的链路上 LSP 的数量、优先级别和带宽级别信息和组播组地址信息代入上述组播情况下 $E(\text{link}(uv))$ 与 $LSP(uvrt)$ 之间的关系式,计算每条路径上每条链路的 $E(\text{link}(uv))$ 值,比较每条链路 $E(\text{link}(uv))$ 值的大小,选择每条路径中 $E(\text{link}(uv))$ 值最大的链路作为指标最差的链路;其中, $LSP(uvrt) = LSPs(uvrt) + LSPM1(uvrt) + LSPM2(uvrt) + \dots + LSPMn(uvrt)$,其中, $LSPs(uvrt)$ 表示路径 u 上第 v 条链路的优先级别为 r 带宽级别为 t 的单播 LSP 被抢占的数量, $LSPMn(uvrt)$ 表示路径 u 上第 v 条链路的优先级别为 r 带宽

级别为 t 的组播路径 n 被抢占的数量。

在比较每条链路 $E(\text{link}(uv))$ 值大小的过程中，如果所述每条路径中 $E(\text{link}(uv))$ 值最大的链路同时存在多条，则计算并比较同时存在的多条 $E(\text{link}(uv))$ 值最大的链路上所有被抢占的 LSP 数量的总和，选择所有被抢占 LSP 数量总和最大的链路作为指标最差的链路。

在比较同时存在的多条 $E(\text{link}(uv))$ 值最大的链路上所有被抢占的 LSP 数量总和的过程中，如果所述被抢占的 LSP 数量的总和最大的链路同时存在多条，则在所述多条被抢占的 LSP 数量的总和最大的链路中随机选择一条链路作为指标最差的链路。

步骤 604：将选择的指标最差的链路构成一个集合，在指标最差链路构成的集合中选择一条指标最优的链路。

在从指标最差链路构成的集合中选择出指标最优的链路的过程中，首先计算并比较指标最差链路构成的集合中每条链路的 $E(\text{link}(uv))$ 值，选择 $E(\text{link}(uv))$ 值最小的链路作为指标最优的链路；

在选择 $E(\text{link}(uv))$ 值最小链路的过程中，如果同时存在多条 $E(\text{link}(uv))$ 值最小的链路，则计算并比较同时存在的多条 $E(\text{link}(uv))$ 值最小的链路上所有被抢占的 LSP 数量的总和，选择所有被抢占 LSP 数量总和最小的链路作为指标最优的链路；

在比较同时存在的多条 $E(\text{link}(uv))$ 值最大的链路上所有被抢占的 LSP 数量总和的过程中，如果所述被抢占的 LSP 数量的总和最小的链路同时存在有多条，则在多条被抢占的 LSP 数量的总和最小链路所属的路径中，分别剔除各自包含的所述被抢占的 LSP 数量的总和最小的链路，并再次执行步骤 603 和 604，直至选择出一条指标最优的链路；如果所述被抢占的 LSP 数量的总和最小的链路只有一条，则选择该链路作为指标最优的链路。

步骤 605：将选择的指标最优的链路作为等效抢占 LSP 数量最少的链路，选择该链路所在的路径。

另外，在步骤 604 中，如果在剔除各自包含的所述被抢占的 LSP 数量的总

和最小的链路的过程中，某条路径中的链路被全部剔除，则选择该条路径。

假设所有满足约束的路径有 g' 条， g' 条路径分别为 $\text{path}(1')$ 、 $\text{path}(2')$ 、...、 $\text{path}(u')$ 、...、 $\text{path}(g')$ ， $\text{path}(u')$ 包括 v' 条链路，分别为 $\text{link}(u'1')$ 、 $\text{link}(u'2')$ 、...、 $\text{link}(u'v')$ ，其中， $1' \leq u' \leq g'$ ，且 u' 、 v' 和 g' 都为自然数。假设 $F(\text{link}(u'v')) = (\text{SB} + \text{UB}(u'v')) / \text{RB}(u'v')$ ，其中， $\text{RB}(u'v')$ 表示链路 $\text{link}(u'v')$ 上的预留总带宽， $\text{UB}(u'v')$ 表示链路 $\text{link}(u'v')$ 上的已经被占用的总带宽， SB 表示新建 LSP 所需的带宽。

如图 7 所示，图 7 为本发明在不需要抢占其他 LSP 的路径中选择链路利用率最低的路径的方法流程图，该方法包括以下步骤：

步骤 701：在每条不需要抢占其他 LSP 的路径中选择一条指标最差的链路。

在选择每条路径中指标最差的链路的过程中，对于每条路径中的每条链路，根据上述关系式 $F(\text{link}(u'v')) = (\text{SB} + \text{UB}(u'v')) / \text{RB}(u'v')$ ，计算每条路径上每条链路的 $F(\text{link}(u'v'))$ 值，比较每条链路 $F(\text{link}(u'v'))$ 的大小，选择 $F(\text{link}(u'v'))$ 值最大的链路作为指标最差的链路；

在比较每条链路 $F(\text{link}(u'v'))$ 值大小的过程中，如果所述每条路径中 $F(\text{link}(u'v'))$ 值最大的链路同时存在多条，则计算并比较 $F(\text{link}(u'v'))$ 值最大链路的 $(\text{RB} - \text{SB} - \text{UB})$ 值，选择 $(\text{RB} - \text{SB} - \text{UB})$ 值最小的链路作为指标最差的链路；

在比较 $F(\text{link}(u'v'))$ 值最大链路 $(\text{RB} - \text{SB} - \text{UB})$ 值的过程中，如果所述 $(\text{RB} - \text{SB} - \text{UB})$ 值最小的链路同时存在多条，则在所述多条 $(\text{RB} - \text{SB} - \text{UB})$ 值最小的链路中随机选择一条链路作为指标最差的链路。

步骤 702：将选择的指标最差的链路构成一个集合，在指标最差链路构成的集合中选择一条指标最优的链路。

在从指标最差链路构成的集合中选择出指标最优的链路的过程中，首先计算并比较指标最差链路构成的集合中每条链路的 $F(\text{link}(u'v'))$ 值，选择 $F(\text{link}(u'v'))$ 值最小的链路作为指标最优的链路；

在选择 $F(\text{link}(u'v'))$ 值最小链路的过程中，如果存在多条链路指标值都一样优的情况，则计算并比较同时存在的多条 $F(\text{link}(u'v'))$ 值最小的链路的

(RB-SB-UB) 值, 选择 (RB-SB-UB) 值最大的链路作为指标最优的链路;

在选择 (RB-SB-UB) 值最大链路的过程中, 如果所述 (RB-SB-UB) 值最大的链路同时存在多条, 则在多条 (RB-SB-UB) 值最大链路所属的路径中, 分别剔除各自包含的所述 (RB-SB-UB) 值大的链路, 并再次执行步骤 701 和 702, 直至选择出一条指标最优的链路; 如果所述 (RB-SB-UB) 值最大的链路只有一条, 则选择该链路作为指标最优的链路。

步骤 703: 将选择的指标最优的链路作为链路利用率最低的链路, 选择该链路所在的路径。

另外, 在步骤 702 中, 如果在剔除各自包含的所述 (RB-SB-UB) 值大的链路的过程中, 某条路径中的链路被全部剔除, 则选择该条路径。

在不需要抢占其他 LSP 时, 利用基于图 7 所示的在不需要抢占其他 LSP 的路径中选择链路利用率最低的路径的方法, 虽然可以达到本发明提高链路利用率和网络稳定性的目的, 但是, 该方法忽视了下面这样一种情况:

例如, 现有两条满足约束条件的不需要抢占其他 LSP 中链路的候选路径 path(1)、path(2), 这两条路径都能够为需要建立的路径提供足够的带宽。其中, path(1) 有 10 条链路, 最低的链路利用率为 10%; path(2) 有 2 条链路, 最低的链路利用率为 20%。现在要建立一条带宽 10M 的 LSP, 按照图 7 所示的方法, 由于 path(1) 中最低的链路利用率小于 path(2) 中最低的链路利用率, 所以选择 path(1) 这条路径。但是, 如果选择 path(1) 这条路径, 则要分配 $10M \times 10$ 的总带宽, 而选择 path(2) 这条路径, 只要分配 $10M \times 2$ 的总带宽就可以了, 显然选择 path(2) 分配的总带宽要小得多, 选择 path(2) 也更为合理。

基于上述分析, 在不需要抢占其他 LSP 时, 本发明提供了另外一种选择不需要抢占其他 LSP 的方法。如图 8 所示, 图 8 为本发明在不需要抢占其他 LSP 的路径中选择链路数量最少的路径的方法流程图, 该方法包括以下步骤:

步骤 801: 在不需要抢占其他 LSP 的路径中计算每条路径所包含链路的数量。

步骤 802: 根据计算出的每条路径所包含的链路的数量, 判断链路数量最

少的路径是否只有 1 条，如果是，则执行步骤 803；否则，执行步骤 804。

步骤 803：选择链路数量最少的路径，结束本流程。

步骤 804：如果链路数量最少的路径同时存在有多条，则将链路数量最少的路径构成一个集合，假设 $F(\text{link}(uv)) = (SB+UB(uv)) / RB(uv)$ ，其中， $RB(uv)$ 表示链路 $\text{link}(uv)$ 上的预留总带宽， $UB(uv)$ 表示链路 $\text{link}(uv)$ 上的已经被占用的总带宽， SB 表示新建 LSP 所需的带宽，根据公式 $P(\text{path}(u)) = F(\text{link}(u1)) + F(\text{link}(u2)) + \dots + F(\text{link}(un))$ 计算该集合中每条路径的 $P(\text{path}(u))$ 值，判断 $P(\text{path}(u))$ 值最小的路径是否只有 1 条，如果是，则执行步骤 805；否则，执行步骤 806。

步骤 805：选择 $P(\text{path}(u))$ 值最小的路径，结束本流程；

步骤 806：在多条 $P(\text{path}(u))$ 值最小的路径中随机选择一条路径。

在本发明图 8 所示的实施例中，为了能够迅速选择出链路数量最少的路径，可以在步骤 801 与步骤 802 之间进一步定义一个用户对链路数量的容忍度 G 。假设步骤 801 计算出的每条路径所包含的链路的数量由小到大的顺序依次为： $N1、N2、\dots\dots、Nm$ ，其中 m 为路径的数量，从这 m 条路径中剔除 n 条路径后，剩余的 j 条路径都满足 $G \geq Nj / N1$ 。其中 $m、n、j$ 都为自然数，且 $n+j=m$ 。利用定义的用户对链路数量的容忍度 G ，可以首先在不需要抢占其他 LSP 中链路的路径中剔除这样的路径：该路径中链路数量与最小链路数量的比值大于链路数量的容忍度 G 的路径，使步骤 802 在选择链路数量最少的路径时，选择的范围减小，更容易选择出链路数量最少的路径。这样的技术方案与本发明提供的技术方案在思路上一致的，应包含在本发明的保护范围之内。

另外，在本发明图 8 所示的实施例中，为了能够更加迅速地选择出链路数量最少的路径，还可以在步骤 801 与步骤 802 之间，或者在利用定义的用户对链路数量的容忍度 G 剔除链路数量大于链路数量的容忍度 G 的路径后，进一步对不需要抢占其他 LSP 中链路的路径计算该路径中每条链路负载率 $F(\text{link}(uv))$ 的值，其中 $F(\text{link}(uv)) = (SB+UB(uv)) / RB(uv)$ ，然后定义一个用户对链路负载率的容忍度 H ，利用链路负载率的容忍度 H 剔除链路负载率大于链路负载率的容忍度 H 的路径，使步骤 802 在选择链路数量最少的路径时，选择的范围减小。

更容易选择出链路数量最少的路径。这样的技术方案与本发明提供的技术方案在思路上一致的，应包含在本发明的保护范围之内。

以上所述的具体实施例，对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明，所应理解的是，以上所述仅为本发明的具体实施例而已，并不用于限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内，所做的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

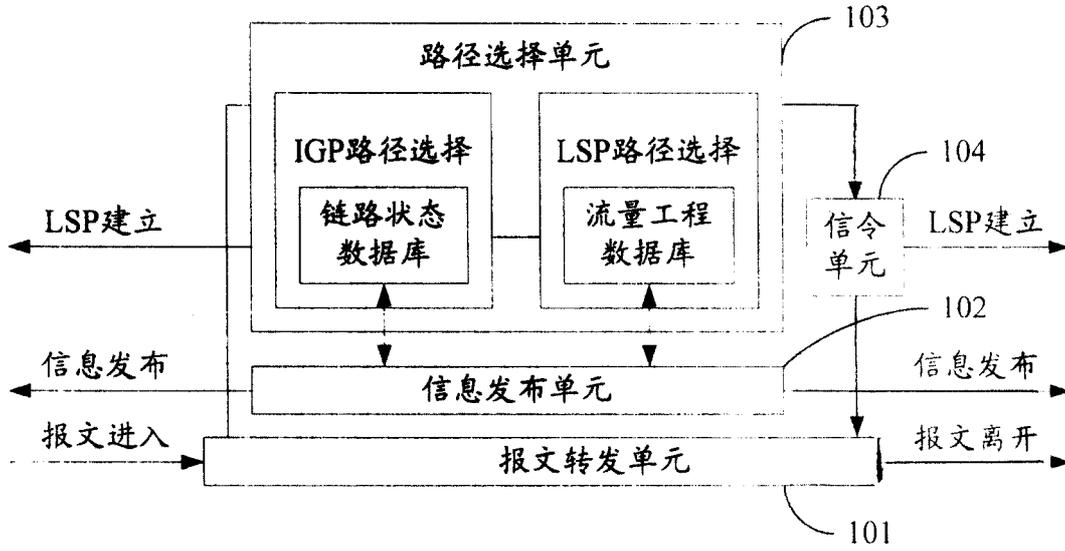


图 1

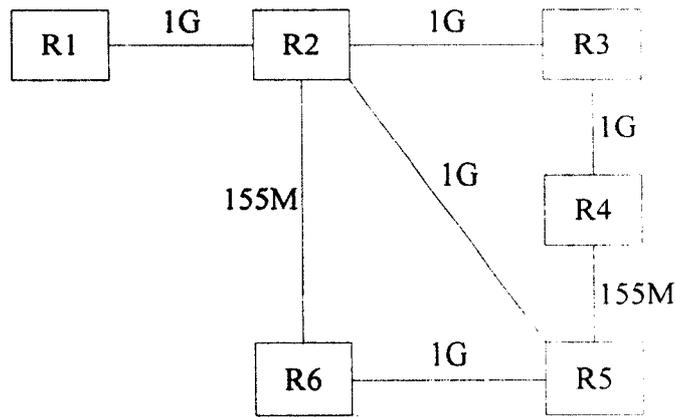


图 2

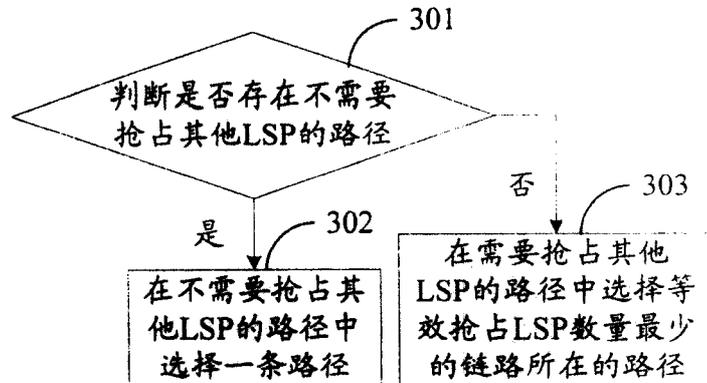


图 3

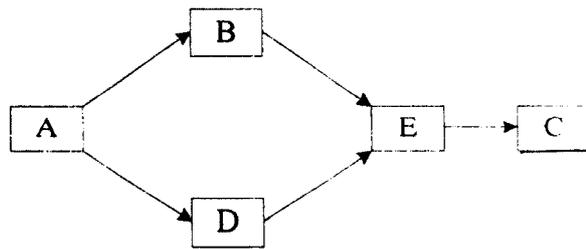


图 4

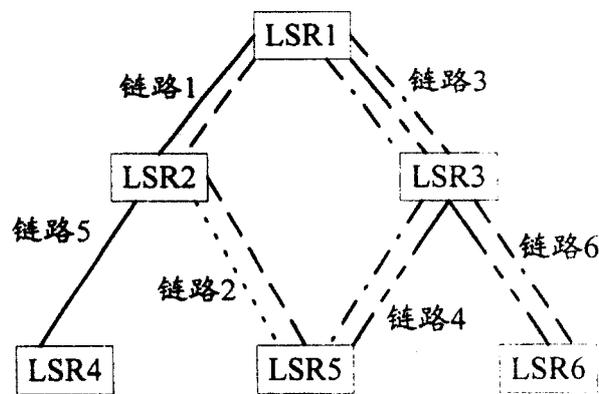


图 5

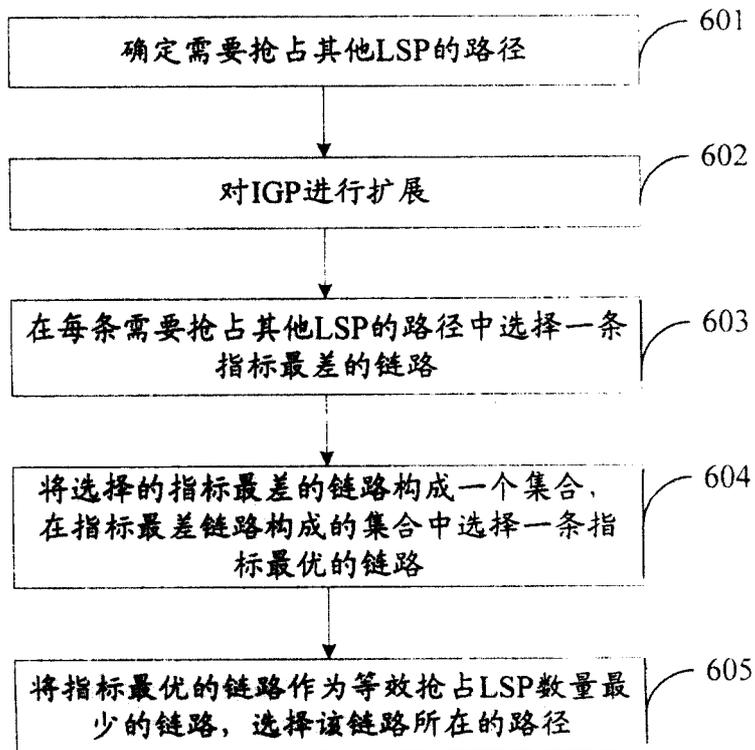


图 6

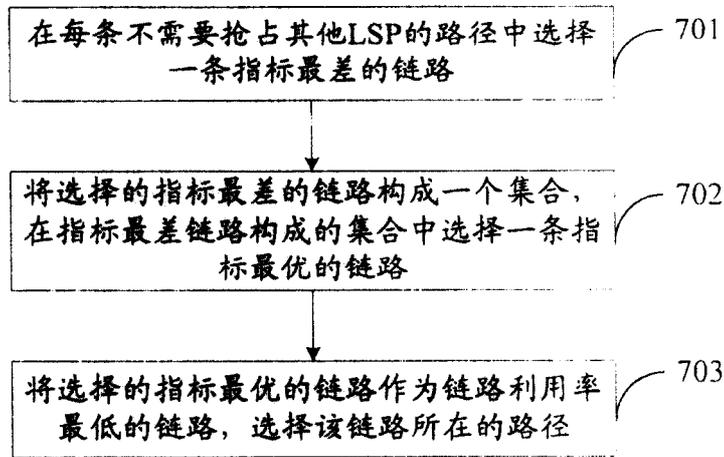


图 7

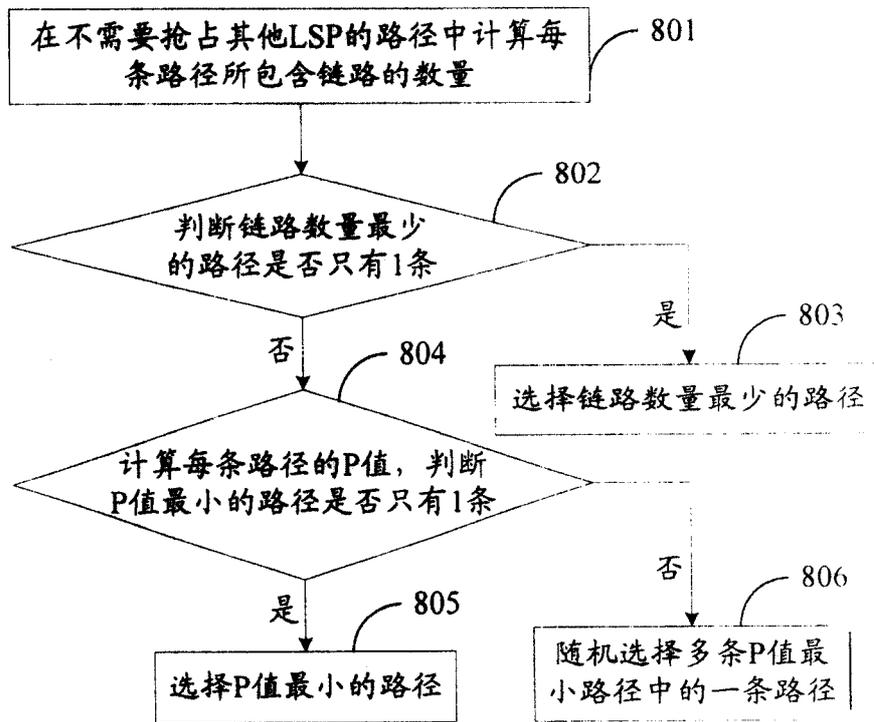


图 8