



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109831379 A

(43)申请公布日 2019.05.31

(21)申请号 201910079410.2

(22)申请日 2019.01.28

(71)申请人 重庆邮电大学

地址 400065 重庆市南岸区南山街道崇文路2号

(72)发明人 鲍宁海 匡明 苏泊迪普·萨胡
李国平 吴涛

(74)专利代理机构 重庆市恒信知识产权代理有限公司 50102

代理人 刘小红 陈栋梁

(51)Int.Cl.

H04L 12/707(2013.01)

H04L 12/46(2006.01)

H04L 12/931(2013.01)

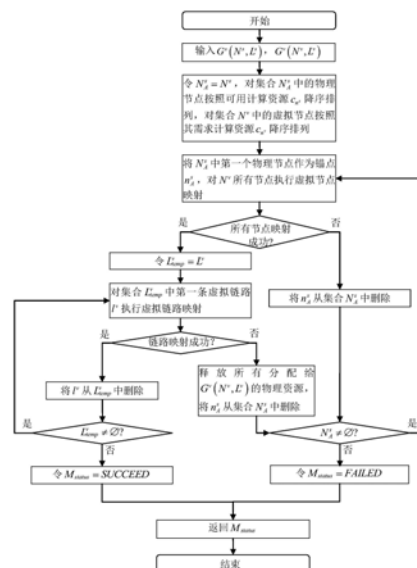
权利要求书3页 说明书8页 附图4页

(54)发明名称

一种弹性光网络中基于锚点的虚拟网络抗毁映射方法

(57)摘要

本发明请求保护一种弹性光网络中基于锚点的虚拟网络抗毁映射方法,属于云计算和通信网技术领域。本发明根据虚拟节点资源的需求和物理网络节点资源的分布情况,提出基于锚点的有限区域内目标物理节点的选择和映射方法;根据虚拟链路带宽需求和相应物理通路上频隙资源的分布情况,提出基于多通路和最小代价频隙窗口的选择和映射方法;根据多通路中的带宽分配情况,采用最大带宽保护通路配置方法,解决虚拟链路的抗毁保护问题。通过综合利用所提出的节点映射、链路映射以及保护通路配置方法实现虚拟网的映射,在提高物理网络节点资源和频谱资源利用率的基础上,有效提高了弹性光网络中虚拟网抗毁映射的成功率。



1. 一种弹性光网络中基于锚点的虚拟网络抗毁映射方法, 假设弹性光网络为 $G^s(N^s, L^s)$, 其中, N^s 为物理节点集合, L^s 为物理链路集合, 物理节点 $n^s (\in N^s)$ 的可用计算资源为 C_{n^s} ; 虚拟网络为 $G^v(N^v, L^v)$, 其中, N^v 为虚拟节点集合, L^v 为虚拟链路集合, 虚拟节点 $n^v (\in N^v)$ 的需求计算资源为 C_{n^v} , 其特征在于, 虚拟网络抗毁映射方法包括以下步骤:

101、令备选锚点集合 $N_A^s = N^s$, 对集合 N_A^s 中的物理节点按照可用计算资源 C_{n^s} 降序排列, 对集合 N^v 中的虚拟节点按照其需求计算资源 C_{n^v} 降序排列;

102、将集合 N_A^s 中第一个物理节点作为锚点 n_A^s , 以跳数为距离单位, 在物理网络中距离 n_A^s 节点 H 跳范围内, 对 N^v 中所有虚拟节点执行映射, 如果所有虚拟节点映射成功, 令临时虚拟链路集合 $L_{temp}^v = L^v$, 跳转到步骤103, 否则, 将锚点 n_A^s 从集合 N_A^s 中删除, 跳转到步骤104;

103、对集合 L_{temp}^v 中第一条虚拟链路 l^v 执行虚拟链路映射, 将 l^v 映射到至多 $(K-1)$ 条工作通路和1条保护通路, 其中, K 为给定的整数, 且 $K \geq 2$, 如果 l^v 映射成功, 将 l^v 从 L_{temp}^v 中删除, 跳转到步骤105, 否则, 释放所有分配给 $G^v(N^v, L^v)$ 的物理资源, 将 n_A^s 从集合 N_A^s 中删除, 跳转到步骤104;

104、如果集合 $N_A^s \neq \emptyset$, 跳转到步骤102, 否则, 令虚拟网映射状态标识 $M_{status} = \text{FAILED}$, 跳转到步骤106;

105、如果集合 $L_{temp}^v \neq \emptyset$, 跳转到步骤103, 否则, 令虚拟网映射状态标识 $M_{status} = \text{SUCCEED}$, 跳转到步骤106;

106、返回 M_{status} , 结束。

2. 根据权利要求1所述的一种弹性光网络中基于锚点的虚拟网络抗毁映射方法, 其特征在于, 所述步骤102虚拟节点映射的步骤包括:

A1、令临时虚拟节点集合 $N_{temp}^v = N^v$, 将物理网络中的锚点 n_A^s 以及距离其 H 跳以内的节点都放入集合 N_{temp}^s , 如果集合 N_{temp}^s 中的节点数不少于集合 N_{temp}^v 中的节点数, 将 N_{temp}^s 中的节点按照其可用计算资源量 C_{n^s} 降序排列, 否则, 令虚拟节点映射状态标识 $N_{status} = \text{FAILED}$, 跳转到步骤A6;

A2、检查集合 N_{temp}^v 中第一个虚拟节点 n^v 的需求计算资源 C_{n^v} 以及 N_{temp}^s 中第一个物理节点 n^s 的可用计算资源 C_{n^s} , 如果 $C_{n^v} \leq C_{n^s}$, 跳转到步骤A3, 否则, 令虚拟节点映射状态标识 $N_{status} = \text{FAILED}$, 跳转到步骤A5;

A3、将 n^v 映射到 n^s , 更新物理节点 n^s 的可用计算资源 $C_{n^s} = C_{n^s} - C_{n^v}$, 令虚拟节点映射状态标识 $N_{status} = \text{SUCCEED}$, 分别将 n^v 和 n^s 从集合 N_{temp}^v 和 N_{temp}^s 中删除;

A4、如果集合 $N_{temp}^v \neq \emptyset$, 跳转到步骤A2, 否则, 跳转到步骤A6;

A5、清空集合 N_{temp}^v 和 N_{temp}^s , 释放所有分配给 $G^v(N^v, L^v)$ 的节点资源;

A6、返回 N_{status} , 结束。

3. 根据权利要求1所述的一种弹性光网络中基于锚点的虚拟网络抗毁映射方法, 其特

征在于,所述步骤103对虚拟链路 l^v 执行虚拟链路映射的步骤包括:

B1、确定虚拟链路 l^v 对应的物理节点对以及 l^v 的需求带宽 b_{l^v} ,令变量 $k=0$;

B2、 $k=k+1$,为虚拟链路 l^v 计算第 k 条链路分离的最短路 $p_{l^v}^k$ 以及相应的 $f_{p_{l^v}^k}^{\max}$,计算频隙带宽容量 c_{FS} 和所需频隙数量 f_{required} ,其中 $f_{p_{l^v}^k}^{\max}$ 为物理通路 $p_{l^v}^k (\in P_{l^v})$ 上连续且相邻的最大频隙数量;

B3、如果 $f_{\text{required}} \leq f_{p_{l^v}^k}^{\max}$,跳转到步骤B4,否则,令 $f_{\text{required}} = f_{p_{l^v}^k}^{\max}$,跳转到步骤4;

B4、在通路 $p_{l^v}^k$ 中为 f_{required} 寻找最小代价频隙窗口并预留带宽 $b_{p_{l^v}^k} = c_{FS} \cdot f_{\text{required}}$,将 $p_{l^v}^k$ 作为第 k 条工作通路,更新 $b_{l^v} = b_{l^v} - b_{p_{l^v}^k}$,如果 $b_{l^v} > 0$,跳转到步骤B5,否则,跳转到步骤B6;

B5、如果 $k \leq K-1$,跳转到步骤B2,否则,令虚拟链路映射状态标识 $L_{\text{status}} = \text{FAILED}$,跳转到步骤B7,其中 $K (\geq 2)$ 为单条虚拟链路映射的最大物理通路数,包括至多 $K-1$ 条工作通路和1条保护通路;

B6、 $k=k+1$,为 l^v 计算第 k 条链路分离的最短路 $p_{l^v}^k$ 以及相应的 $f_{p_{l^v}^k}^{\max}$,分别计算 c_{FS} 和 f_{required} ,如果 $f_{\text{required}} \leq f_{p_{l^v}^k}^{\max}$,在 $p_{l^v}^k$ 中预留带宽 $c_{FS} \cdot f_{\text{required}}$ 作为保护通路带宽,令虚拟链路映射状态标识 $L_{\text{status}} = \text{SUCCEED}$,否则,令虚拟链路映射状态标识 $L_{\text{status}} = \text{FAILED}$;

B7、返回 L_{status} ,结束。

4. 根据权利要求1所述的一种弹性光网络中基于锚点的虚拟网络抗毁映射方法,其特征在于,所述所需频隙数量 f_{required} 的计算方法定义如公式(1)所示。

$$f_{\text{required}} = 1 + \lceil b_{l^v} / c_{FS} \rceil \quad (1)$$

其中,“1”表示需求带宽 b_{l^v} 的保护频隙数为1,频隙带宽容量 c_{FS} 由物理通路 $p_{l^v}^k$ 的长度决定, $\lceil b_{l^v} / c_{FS} \rceil$ 表示需求带宽 b_{l^v} 对应的频隙数量。

5. 根据权利要求3所述的一种弹性光网络中基于锚点的虚拟网络抗毁映射方法,其特征在于,所述步骤B4寻找最小代价频隙窗口中涉及的频隙窗口定义为:假设物理通路1-2-3由链路1-2和链路2-3组成,包含14个频隙FS,编号从0至13,记为FS₀至FS₁₃,其中,链路1-2中的FS₂、FS₇、FS₉为已占用频隙,链路2-3中FS₂、FS₃、FS₇为已占用频隙,其余频隙均为空闲频隙;若通路1-2-3上需要配置2个频隙,则根据弹性光网络频谱配置限制性条件,在通路1-2-3上可使用的频隙窗口FSW包括:(FS₀,FS₁)、(FS₄,FS₅)、(FS₅,FS₆)、(FS₁₀,FS₁₁)、(FS₁₁,FS₁₂)和(FS₁₂,FS₁₃),分别标记为FSW₀、FSW₄、FSW₅、FSW₁₀、FSW₁₁、FSW₁₂,其中频隙窗口编号为该频隙窗口的起始频隙编号。

6. 根据权利要求3所述的一种弹性光网络中基于锚点的虚拟网络抗毁映射方法,其特征在于,所述步骤B4寻找最小代价频隙窗口中涉及的频隙代价计算方法如公式(2)所示,其中, $C_{l^v}^{FS}(i)$ 表示频隙 i 的代价,如果频隙 i 可用,该频隙代价为1,否则,频隙代价为0;

$$C_{l^s}^{FS}(i) = \begin{cases} 1, & \text{if } FS_i \text{ is available} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)。$$

7. 根据权利要求6所述的一种弹性光网络中基于锚点的虚拟网络抗毁映射方法,其特征在于,所述步骤B4寻找最小代价频隙窗口中涉及的频隙窗口代价计算方法如公式(3)所示;

$$C_{p_{l^v}^k}^{FSW}(i, f_{required}) = \begin{cases} \sum_{l_s \in p_{l^v}^k} C_{l^s}^{FS}(i + f_{required}), & i = 0 \\ \sum_{l_s \in p_{l^v}^k} [C_{l^s}^{FS}(i + f_{required}) + C_{l^s}^{FS}(i - 1)], & 1 \leq i < I - f_{required} + 1 \\ \sum_{l_s \in p_{l^v}^k} C_{l^s}^{FS}(i - 1), & i = I - f_{required} + 1 \end{cases} \quad (3)$$

其中, i 表示频隙窗口编号, I 为通路 $p_{l^v}^k$ 中的最大频隙编号, $I = \max(i)$, 频隙窗口 FSW_i 的代价 $C_{p_{l^v}^k}^{FSW}(i, f_{required})$ 定义为频隙代价 $C_{l^s}^{FS}(i)$ 的函数。

一种弹性光网络中基于锚点的虚拟网络抗毁映射方法

技术领域

[0001] 本发明属于云计算和通信网技术领域,具体涉及一种弹性光网络中基于锚点的虚拟网络抗毁映射方法。

背景技术

[0002] 随着云计算的迅猛发展,网络虚拟化技术的研究已受到工业界和学术界的广泛关注。在网络虚拟化环境下,多个虚拟网可映射于同一个物理网络,各个虚拟网之间既相互独立又共享底层物理网络资源。物理链路的失效可能会导致大量虚拟网业务的中断和丢失,进而对用户和服务提供商造成难以估量的损失,因此,虚拟网的抗毁映射是云计算和通信网领域的一个重要的研究课题。

[0003] 与此同时,业务类型的多样性以及业务量的爆炸式增长为现有底层物理网络带来了沉重的压力,传统的基于WDM的光网络技术难以满足日益增长和多变的业务需求,而频谱资源更加灵活高效的弹性光网络技术将成为未来骨干网基础建设的重要解决方案。在弹性光网络中,频谱被划分为更小的频隙,通过采用不同的调制模式,每个频隙将具有不同的带宽容量。弹性光网络频谱配置的限制性条件包括:频谱连续性、频谱相邻性以及频谱不重叠性。在此条件下,多个频隙可以灵活地组合成一个频隙窗口,满足更大的带宽需求。

[0004] 在虚拟网映射过程中,如果虚拟节点的映射范围不受限制,则可能造成网络中不同虚拟网映射的物理节点过于集中,节点资源分配不均衡,从而使节点映射失败率增大;而在同一虚拟网中,如果相邻虚拟节点映射的物理节点距离太远,又会造成虚拟节点之间物理传输通路距离过长,耗费更多的物理链路资源,造成网络带宽资源利用率的下降。因此,如何实现物理节点资源的均衡分配和使用是虚拟网映射中的一个重要问题。

[0005] 虽然弹性光网络能使带宽资源的分配和使用更加灵活方便,但是频谱的碎片化却容易造成资源利用率的下降,从而使虚拟网络映射的阻塞率增大。如何对链路频谱碎片进行合理的管理和利用,是虚拟网链路映射急需解决的问题。

[0006] 本发明综合利用所提出的节点映射、链路映射以及保护通路配置方法实现虚拟网在弹性光网络上的抗毁映射,在提高物理网络节点资源和频谱资源利用率的基础上,有效提高了虚拟网的映射成功率。

发明内容

[0007] 本发明旨在解决以上现有技术的问题。提出了一种在提高物理网络节点资源和频谱资源利用率的基础上,有效提高了虚拟网的映射成功率的弹性光网络中基于锚点的虚拟网络抗毁映射方法。本发明的技术方案如下:

[0008] 一种弹性光网络中基于锚点的虚拟网络抗毁映射方法,假设弹性光网络为 $G^s(N^s, L^s)$, 其中, N^s 为物理节点集合, L^s 为物理链路集合, 物理节点 $n^s (\in N^s)$ 的可用计算资源为 C_{n^s} ; 虚拟网络为 $G^v(N^v, L^v)$, 其中, N^v 为虚拟节点集合, L^v 为虚拟链路集合, 虚拟节点 $n^v (\in N^v)$ 的需求计算资源为 C_{n^v} , 虚拟网络抗毁映射方法包括以下步骤:

[0009] 101、令备选锚点集合 $N_A^s = N^s$ ，对集合 N_A^s 中的物理节点按照可用计算资源 C_{n^s} 降序排列，对集合 N^v 中的虚拟节点按照其需求计算资源 C_{n^v} 降序排列；

[0010] 102、将集合 N_A^s 中第一个物理节点作为锚点 n_A^s ，以跳数为距离单位，在物理网络中距离 n_A^s 节点 H 跳范围内，对 N^v 中所有虚拟节点执行映射，如果所有虚拟节点映射成功，令临时虚拟链路集合 $L_{temp}^v = L^v$ ，跳转到步骤103，否则，将锚点 n_A^s 从集合 N_A^s 中删除，跳转到步骤104；

[0011] 103、对集合 L_{temp}^v 中第一条虚拟链路 l^v 执行虚拟链路映射，将 l^v 映射到至多 $(K-1)$ 条工作通路和1条保护通路，其中， K 为给定的整数，且 $K \geq 2$ ，如果 l^v 映射成功，将 l^v 从 L_{temp}^v 中删除，跳转到步骤105，否则，释放所有分配给 $G^v(N^v, L^v)$ 的物理资源，将 n_A^s 从集合 N_A^s 中删除，跳转到步骤104；

[0012] 104、如果集合 $N_A^s \neq \emptyset$ ，跳转到步骤102，否则，令虚拟网映射状态标识 $M_{status} = \text{FAILED}$ ，跳转到步骤106；

[0013] 105、如果集合 $L_{temp}^v \neq \emptyset$ ，跳转到步骤103，否则，令虚拟网映射状态标识 $M_{status} = \text{SUCCEED}$ ，跳转到步骤106；

[0014] 106、返回 M_{status} ，结束。

[0015] 进一步的，所述步骤102虚拟节点映射的步骤包括：

[0016] A1、令临时虚拟节点集合 $N_{temp}^v = N^v$ ，将物理网络中的锚点 n_A^s 以及距离其 H 跳以内的节点都放入集合 N_{temp}^s ，如果集合 N_{temp}^s 中的节点数不少于集合 N_{temp}^v 中的节点数，将 N_{temp}^s 中的节点按照其可用计算资源量 C_{n^s} 降序排列，否则，令虚拟节点映射状态标识 $N_{status} = \text{FAILED}$ ，跳转到步骤A6；

[0017] A2、检查集合 N_{temp}^v 中第一个虚拟节点 n^v 的需求计算资源 C_{n^v} 以及 N_{temp}^s 中第一个物理节点 n^s 的可用计算资源 C_{n^s} ，如果 $C_{n^v} \leq C_{n^s}$ ，跳转到步骤A3，否则，令虚拟节点映射状态标识 $N_{status} = \text{FAILED}$ ，跳转到步骤A5；

[0018] A3、将 n^v 映射到 n^s ，更新物理节点 n^s 的可用计算资源 $C_{n^s} = C_{n^s} - C_{n^v}$ ，令虚拟节点映射状态标识 $N_{status} = \text{SUCCEED}$ ，分别将 n^v 和 n^s 从集合 N_{temp}^v 和 N_{temp}^s 中删除；

[0019] A4、如果集合 $N_{temp}^v \neq \emptyset$ ，跳转到步骤A2，否则，跳转到步骤A6；

[0020] A5、清空集合 N_{temp}^v 和 N_{temp}^s ，释放所有分配给 $G^v(N^v, L^v)$ 的节点资源；

[0021] A6、返回 N_{status} ，结束。

[0022] 进一步的，所述步骤103对虚拟链路 l^v 执行虚拟链路映射的步骤包括：

[0023] B1、确定虚拟链路 l^v 对应的物理节点对以及 l^v 的需求带宽 b_{l^v} ，令变量 $k=0$ ；

[0024] B2、 $k=k+1$ ，为虚拟链路 l^v 计算第 k 条链路分离的最短路 $p_{l^v}^k$ 以及相应的 $f_{p_{l^v}^k}^{\max}$ ，计算频隙带宽容量 C_{FS} 和所需频隙数量 f_{required} ，其中 $f_{p_{l^v}^k}^{\max}$ 为物理通路 $p_{l^v}^k (\in P_{l^v})$ 上连续且相邻

的最大频隙数量；

[0025] B3、如果 $f_{required} \leq f_{p_{l^v}}^{\max}$ ，跳转到步骤B4，否则，令 $f_{required} = f_{p_{l^v}}^{\max}$ ，跳转到步骤4；

[0026] B4、在通路 $p_{l^v}^k$ 中为 $f_{required}$ 寻找最小代价频隙窗口并预留带宽 $b_{p_{l^v}^k} = c_{FS} \cdot f_{required}$ ，将 $p_{l^v}^k$ 作为第k条工作通路，更新 $b_{l^v} = b_{l^v} - b_{p_{l^v}^k}$ ，如果 $b_{l^v} > 0$ ，跳转到步骤B5，否则，跳转到步骤B6；

[0027] B5、如果 $k \leq K-1$ ，跳转到步骤B2，否则，令虚拟链路映射状态标识 $L_{status} = \text{FAILED}$ ，跳转到步骤B7，其中 $K (\geq 2)$ 为单条虚拟链路映射的最大物理通路数，包括至多 $K-1$ 条工作通路和1条保护通路；

[0028] B6、 $k = k+1$ ，为 l^v 计算第k条链路分离的最短路 $p_{l^v}^k$ 以及相应的 $f_{p_{l^v}^k}^{\max}$ ，分别计算 c_{FS} 和 $f_{required}$ ，如果 $f_{required} \leq f_{p_{l^v}^k}^{\max}$ ，在 $p_{l^v}^k$ 中预留带宽 $c_{FS} \cdot f_{required}$ 作为保护通路带宽，令虚拟链路映射状态标识 $L_{status} = \text{SUCCEED}$ ，否则，令虚拟链路映射状态标识 $L_{status} = \text{FAILED}$ ；

[0029] B7、返回 L_{status} ，结束。

[0030] 进一步的，所述所需频隙数量 $f_{required}$ 的计算方法定义如公式 (1) 所示。

$$[0031] \quad f_{required} = 1 + \lceil b_{l^v} / c_{FS} \rceil \quad (1)$$

[0032] 其中，“1”表示需求带宽 b_{l^v} 的保护频隙数为1，频隙带宽容量 c_{FS} 由物理通路 $p_{l^v}^k$ 的长度决定， $\lceil b_{l^v} / c_{FS} \rceil$ 表示需求带宽 b_{l^v} 对应的频隙数量。

[0033] 进一步的，所述步骤B4寻找最小代价频隙窗口中涉及的频隙窗口定义为：假设物理通路1-2-3由链路1-2和链路2-3组成，包含14个频隙FS，编号从0 至13，记为 FS_0 至 FS_{13} ，其中，链路1-2中的 FS_2 、 FS_7 、 FS_9 为已占用频隙，链路2-3中 FS_2 、 FS_3 、 FS_7 为已占用频隙，其余频隙均为空闲频隙。若通路1-2-3 上需要配置2个频隙，则根据弹性光网络频谱配置限制性条件，在通路1-2-3上可使用的频隙窗口FSW包括： (FS_0, FS_1) 、 (FS_4, FS_5) 、 (FS_5, FS_6) 、 (FS_{10}, FS_{11}) 、 (FS_{11}, FS_{12}) 和 (FS_{12}, FS_{13}) ，分别标记为 FSW_0 、 FSW_4 、 FSW_5 、 FSW_{10} 、 FSW_{11} 、 FSW_{12} ，其中频隙窗口编号为该频隙窗口的起始频隙编号。

[0034] 进一步的，所述步骤B4寻找最小代价频隙窗口中涉及的频隙代价计算方法如公式 (2) 所示，其中， $C_{l^v}^{FS}(i)$ 表示频隙 i 的代价，如果频隙 i 可用，该频隙代价为1，否则，频隙代价为0；

$$[0035] \quad C_{l^v}^{FS}(i) = \begin{cases} 1, & \text{if } FS_i \text{ is available} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)。$$

[0036] 进一步的，所述步骤B4寻找最小代价频隙窗口中涉及的频隙窗口代价计算方法如公式 (3) 所示；

[0037]

$$C_{p_{lv}^k}^{FSW}(i, f_{required}) = \begin{cases} \sum_{l_s \in p_{lv}^k} C_{l_s}^{FS}(i + f_{required}), & i = 0 \\ \sum_{l_s \in p_{lv}^k} [C_{l_s}^{FS}(i + f_{required}) + C_{l_s}^{FS}(i - 1)], & 1 \leq i < I - f_{required} + 1 \\ \sum_{l_s \in p_{lv}^k} C_{l_s}^{FS}(i - 1), & i = I - f_{required} + 1 \end{cases} \quad (3)$$

[0038] 其中, i 表示频隙窗口编号, I 为通路 p_{lv}^k 中的最大频隙编号, $I = \max(i)$, 频隙窗口 FSW_i 的代价 $C_{p_{lv}^k}^{FSW}(i, f_{required})$ 定义为频隙代价 $C_{l_s}^{FS}(i)$ 的函数。

[0039] 本发明的优点及有益效果如下:

[0040] 本发明针对弹性光网络中虚拟网的抗毁映射问题, 提出一种弹性光网络中基于锚点的虚拟网络抗毁映射方法。该方法根据虚拟节点资源的需求和物理网络节点资源的分布情况, 提出基于锚点的有限区域内目标物理节点的选择和映射方法, 解决物理节点资源的均衡分配问题; 根据虚拟链路带宽需求和相应物理通路上频隙资源的分布情况, 提出基于多通路和最小代价频隙窗口的选择和映射方法, 解决物理链路频隙资源的碎片管理和利用问题; 根据多通路中的带宽分配情况, 采用最大带宽保护通路配置方法, 解决虚拟链路的抗毁保护问题。通过综合利用所提出的节点映射、链路映射以及保护通路配置方法实现虚拟网的映射, 在提高物理网络节点资源和频谱资源利用率的基础上, 有效提高了弹性光网络中虚拟网抗毁映射的成功率。

附图说明

[0041] 图1是本发明提供优选实施例频隙以及频隙窗口示意图。

[0042] 图2是本发明提供的基于锚点的虚拟网络抗毁映射方法流程图。

[0043] 图3是本发明提供的虚拟节点映射流程图。

[0044] 图4是本发明提供的虚拟链路映射流程图。

具体实施方式

[0045] 下面将结合本发明实施例中的附图, 对本发明实施例中的技术方案进行清楚、详细地描述。所描述的实施例仅仅是本发明的一部分实施例。

[0046] 本发明解决上述技术问题的技术方案是:

[0047] 本发明内容所涉及的概念和模型如下:

[0048] 1. 网络模型

[0049] 假设物理网络模型为 $G^s(N^s, L^s)$, 其中, N^s 为物理节点集合, L^s 为物理链路集合。虚拟网络业务请求拓扑为 $G^v(N^v, L^v)$, 其中, N^v 为虚拟节点集合, L^v 为虚拟链路集合。

[0050] 2. 本发明内容所涉及的其他符号说明如下:

[0051] • M_{status} : 虚拟网映射状态标识

- [0052] • N_{status} : 虚拟节点映射状态标识
- [0053] • L_{status} : 虚拟链路映射状态标识
- [0054] • C_{n^v} : 虚拟节点 $n^v (\in N^v)$ 的需求计算资源
- [0055] • b_{l^v} : 虚拟链路 $l^v (\in L^v)$ 的需求带宽资源
- [0056] • C_{n^s} : 物理节点 $n^s (\in N^s)$ 中的可用计算资源
- [0057] • n_A^s : 锚点, $n_A^s \in N^s$
- [0058] • N_A^s : 备选锚点节点集合, $N_A^s \subseteq N^s$
- [0059] • N_{temp}^v : 临时虚拟节点集合
- [0060] • N_{temp}^s : 临时物理节点集合
- [0061] • L_{temp}^v : 临时虚拟链路集合
- [0062] • L_{temp}^s : 临时物理链路集合
- [0063] • I : 通路 $p_{l^v}^k$ 中的最大频隙编号
- [0064] • f_{l^s} : 物理链路 $l^s (\in L^s)$ 中的可用频隙数量
- [0065] • $p_{l^v}^k$: 虚拟链路 $l^v (\in L^v)$ 映射的第 k 条物理通路
- [0066] • $C_{l^s}^{FS}(i)$: 物理链路 l^s 中频隙 i 的代价
- [0067] • f_{required} : 所需的频隙数量
- [0068] • $C_{p_{l^v}^k}^{FSW}(i, f_{\text{required}})$: 物理通路 $p_{l^v}^k$ 中满足 f_{required} 的频隙窗口 i 的代价, 其中 i 为频隙窗口起始频隙号
- [0069] • $b_{p_{l^v}^k}$: 物理通路 $p_{l^v}^k$ 中在映射虚拟链路 l^v 时预留的带宽资源
- [0070] • $f_{p_{l^v}^k}^{\max}$: 物理通路 $p_{l^v}^k (\in P_{l^v})$ 上连续且相邻的最大频隙数量
- [0071] • K : 单条虚拟链路映射的最大物理通路数 ($K \geq 2$), 包括至多 $K-1$ 条工作通路和1条保护通路
- [0072] • m_f : 调制模式
- [0073] • O_r : 调制模式最长适用距离
- [0074] • C_{FS} : 单个频隙的带宽容量
- [0075] 本发明的技术方案说明如下:
- [0076] 1、计算频隙带宽容量 C_{FS} 涉及的可选信号调制模式包括但不限于表1所列类型。其中, O_r 表示某调制模式下信号的最远传输距离, C_{FS} 为某调制模式下单个频隙的带宽容量。
- [0077] 表1: 调制模式适用距离
- [0078]

调制模式(m_f)	BPSK	QPSK	8QAM	16QAM
---------------	------	------	------	-------

[0079]

最长适用距离(o_r)	4000km	2000km	1000km	500km
单个频隙带宽容量(c_{FS})	12.5Gb/s	25Gb/s	37.5Gb/s	50Gb/s

[0080] 2、所需频隙数量 $f_{required}$ 的计算方法定义如公式 (1) 所示。

$$[0081] \quad f_{required} = 1 + \lceil b_{l^v} / c_{FS} \rceil \quad (1)$$

[0082] 其中，“1”表示需求带宽 b_{l^v} 的保护频隙数为1，频隙带宽容量 c_{FS} 由物理通路 $p_{l^v}^k$ 的长度决定， $\lceil b_{l^v} / c_{FS} \rceil$ 表示需求带宽 b_{l^v} 对应的频隙数量。

[0083] 3、频隙窗口定义如图1所示：物理通路1-2-3由链路1-2和链路2-3组成，包含14个频隙，编号从0至13，记为 FS_0 至 FS_{13} 。其中，灰色方框表示已占用频隙，白色方框表示可用空闲频隙。假设通路1-2-3上需要配置2个频隙，根据弹性光网络频谱配置限制性条件，在此通路可使用的频隙窗口FSW包括： (FS_0, FS_1) 、 (FS_4, FS_5) 、 (FS_5, FS_6) 、 (FS_{10}, FS_{11}) 、 (FS_{11}, FS_{12}) 和 (FS_{12}, FS_{13}) ，分别标记为 FSW_0 、 FSW_4 、 FSW_5 、 FSW_{10} 、 FSW_{11} 、 FSW_{12} ，其中频隙窗口编号为该频隙窗口的起始频隙编号。

[0084] 4、频隙代价计算方法如公式 (2) 所示，其中， $C_{l^s}^{FS}(i)$ 表示频隙 i 的代价，如果频隙 i 可用，该频隙代价为1，否则，频隙代价为0。

$$[0085] \quad C_{l^s}^{FS}(i) = \begin{cases} 1, & \text{if } FS_i \text{ is available} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

[0086] 5、频隙窗口代价计算方法如公式 (3) 所示。

[0087]

$$C_{p_{l^v}^k}^{FSW}(i, f_{required}) = \begin{cases} \sum_{l_s \in p_{l^v}^k} C_{l^s}^{FS}(i + f_{required}), & i = 0 \\ \sum_{l_s \in p_{l^v}^k} [C_{l^s}^{FS}(i + f_{required}) + C_{l^s}^{FS}(i - 1)], & 1 \leq i < I - f_{required} + 1 \\ \sum_{l_s \in p_{l^v}^k} C_{l^s}^{FS}(i - 1), & i = I - f_{required} + 1 \end{cases} \quad (3)$$

[0088] 其中， i 表示频隙窗口编号， I 为通路 $p_{l^v}^k$ 中的最大频隙编号， $I = \max(i)$ ，频隙窗口 FSW_i 的代价 $C_{p_{l^v}^k}^{FSW}(i, f_{required})$ 定义为频隙代价 $C_{l^s}^{FS}(i)$ 的函数。如图1所示，根据公式 (3) 可得：在所需频隙数 $f_{required}$ 为2的条件下，频隙窗口 FSW_0 的代价 $C_{l-2-3}^{FSW}(0, 2) = 0$ ，频隙窗口 FSW_4 的代价 $C_{l-2-3}^{FSW}(4, 2) = 3$ ，频隙窗口 FSW_5 的代价 $C_{l-2-3}^{FSW}(5, 2) = 2$ ，频隙窗口 FSW_{10} 的代价 $C_{l-2-3}^{FSW}(10, 2) = 3$ ，频隙窗口 FSW_{11} 的代价 $C_{l-2-3}^{FSW}(11, 2) = 4$ ，频隙窗口 FSW_{12} 的代价

$C_{1-2-3}^{FSW}(12,2)=2$ 。

[0089] 6、虚拟网节点映射方法 (SUB-1)

[0090] 输入: $G^S(N^S, L^S)$, $G^V(N^V, L^V)$, $n_A^s (\in N^S)$

[0091] 输出: N_{status}

[0092] 步骤1: 令 $N_{temp}^V = N^V$, 将锚点 n_A^s 以及距离其H跳以内的物理节点都放入集合 N_{temp}^S , 如果 $|N_{temp}^S| \geq |N_{temp}^V|$, 将 N_{temp}^S 中的节点按照其可用计算资源量 C_{n^s} 降序排列, 否则, 令 $N_{status} = \text{FAILED}$, 跳转到步骤6;

[0093] 步骤2: 检查 N_{temp}^V 中第一个虚拟节点 n^v 和 N_{temp}^S 中第一个物理节点 n^s , 如果 $C_{n^v} \leq C_{n^s}$, 跳转到步骤3, 否则, 令 $N_{status} = \text{FAILED}$, 跳转到步骤5;

[0094] 步骤3: 将 n^v 映射到 n^s , 更新 $C_{n^s} = C_{n^s} - C_{n^v}$, 令 $N_{status} = \text{SUCCEED}$, 分别将 n^v 和 n^s 从集合 N_{temp}^V 和 N_{temp}^S 中删除;

[0095] 步骤4: 如果 $N_{temp}^V \neq \emptyset$, 跳转到步骤2, 否则, 跳转到步骤6;

[0096] 步骤5: 清空集合 N_{temp}^V 和 N_{temp}^S , 释放所有分配给 $G^V(N^V, L^V)$ 的节点资源;

[0097] 步骤6: 返回 N_{status} 。

[0098] 7、虚拟链路映射方法 (SUB-2)

[0099] 输入: $G^S(N^S, L^S)$, $G^V(N^V, L^V)$, $l^v (\in L^V)$

[0100] 输出: L_{status}

[0101] 步骤1: 确定虚拟链路 l^v 对应的物理节点对以及 l^v 的需求带宽 b_{l^v} , 令 $k=0$;

[0102] 步骤2: $k=k+1$, 为 l^v 计算第 k 条链路分离的最短路 $p_{l^v}^k$ 以及相应的 $f_{p_{l^v}^k}^{\max}$, 根据 b_{l^v} 、表 (1) 和公式 (1) 分别确定 C_{FS} 和 $f_{required}$;

[0103] 步骤3: 如果 $f_{required} \leq f_{p_{l^v}^k}^{\max}$, 跳转到步骤4, 否则, 令 $f_{required} = f_{p_{l^v}^k}^{\max}$, 跳转到步骤4;

[0104] 步骤4: 根据公式 (2) 和公式 (3) 在通路 $p_{l^v}^k$ 中为 $f_{required}$ 寻找最小代价频隙窗口并预留带宽 $b_{p_{l^v}^k} = C_{FS} \cdot f_{required}$, 将 $p_{l^v}^k$ 作为第 k 条工作通路, 更新 $b_{l^v} = b_{l^v} - b_{p_{l^v}^k}$, 如果 $b_{l^v} > 0$, 跳转到步骤5, 否则, 跳转到步骤6;

[0105] 步骤5: 如果 $k \leq K-1$, 跳转到步骤2, 否则, 令 $L_{status} = \text{FAILED}$, 跳转到步骤 7;

[0106] 步骤6: $k=k+1$, 为 l^v 计算第 k 条链路分离的最短路 $p_{l^v}^k$ 以及相应的 $f_{p_{l^v}^k}^{\max}$, 根据 $\max(b_{p_{l^v}^k})$ 、表 (1) 和公式 (1) 分别计算 C_{FS} 和 $f_{required}$, 如果 $f_{required} \leq f_{p_{l^v}^k}^{\max}$, 在 $p_{l^v}^k$ 中预留带

宽 $C_{FS} \cdot f_{required}$ 作为保护通路带宽, 令 $L_{status} = \text{SUCCEED}$, 否则, 令 $L_{status} = \text{FAILED}$;

[0107] 步骤7: 返回 L_{status} 。

[0108] 一种弹性光网络中基于锚点的虚拟网络抗毁映射方法, 其特征在于包括以下步

骤:

[0109] 输入: $G^s(N^s, L^s), G^v(N^v, L^v)$

[0110] 输出: M_{status}

[0111] 步骤1: 令 $N_A^s = N^s$, 对集合 N_A^s 中的物理节点按照可用计算资源 C_n^s 降序排列, 对集合 N^v 中的虚拟节点按照其需求计算资源 C_n^v 降序排列;

[0112] 步骤2: 将集合 N_A^s 中第一个物理节点作为锚点 n_A^s , 执行SUB-1得 N_{status} , 如果 $N_{status} = SUCCEED$, 令 $L_{temp}^v = L^v$, 跳转到步骤3, 否则, 将 n_A^s 从集合 N_A^s 中删除, 跳转到步骤4;

[0113] 步骤3: 对集合 L_{temp}^v 中第一条虚拟链路 l^v 执行SUB-2得 L_{status} , 如果 $L_{status} = SUCCEED$, 将 l^v 从 L_{temp}^v 中删除, 跳转到步骤5, 否则, 释放所有分配给 $G^v(N^v, L^v)$ 的物理资源, 将 n_A^s 从集合 N_A^s 中删除, 跳转到步骤4;

[0114] 步骤4: 如果 $N_A^s \neq \emptyset$, 跳转到步骤2, 否则, 令 $M_{status} = FAILED$, 跳转到步骤6;

[0115] 步骤5: 如果 $L_{temp}^v \neq \emptyset$, 跳转到步骤3, 否则, 令 $M_{status} = SUCCEED$, 跳转到步骤6;

[0116] 步骤6: 返回 M_{status} 。

[0117] 以上这些实施例应理解为仅用于说明本发明而并不用于限制本发明的保护范围。在阅读了本发明的记载的内容之后, 技术人员可以对本发明作各种改动或修改, 这些等效变化和修饰同样落入本发明权利要求所限定的范围。

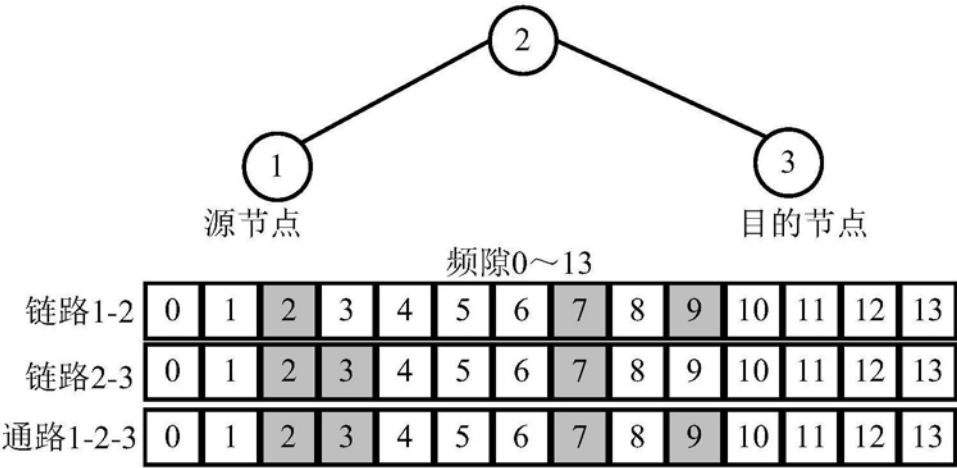


图1

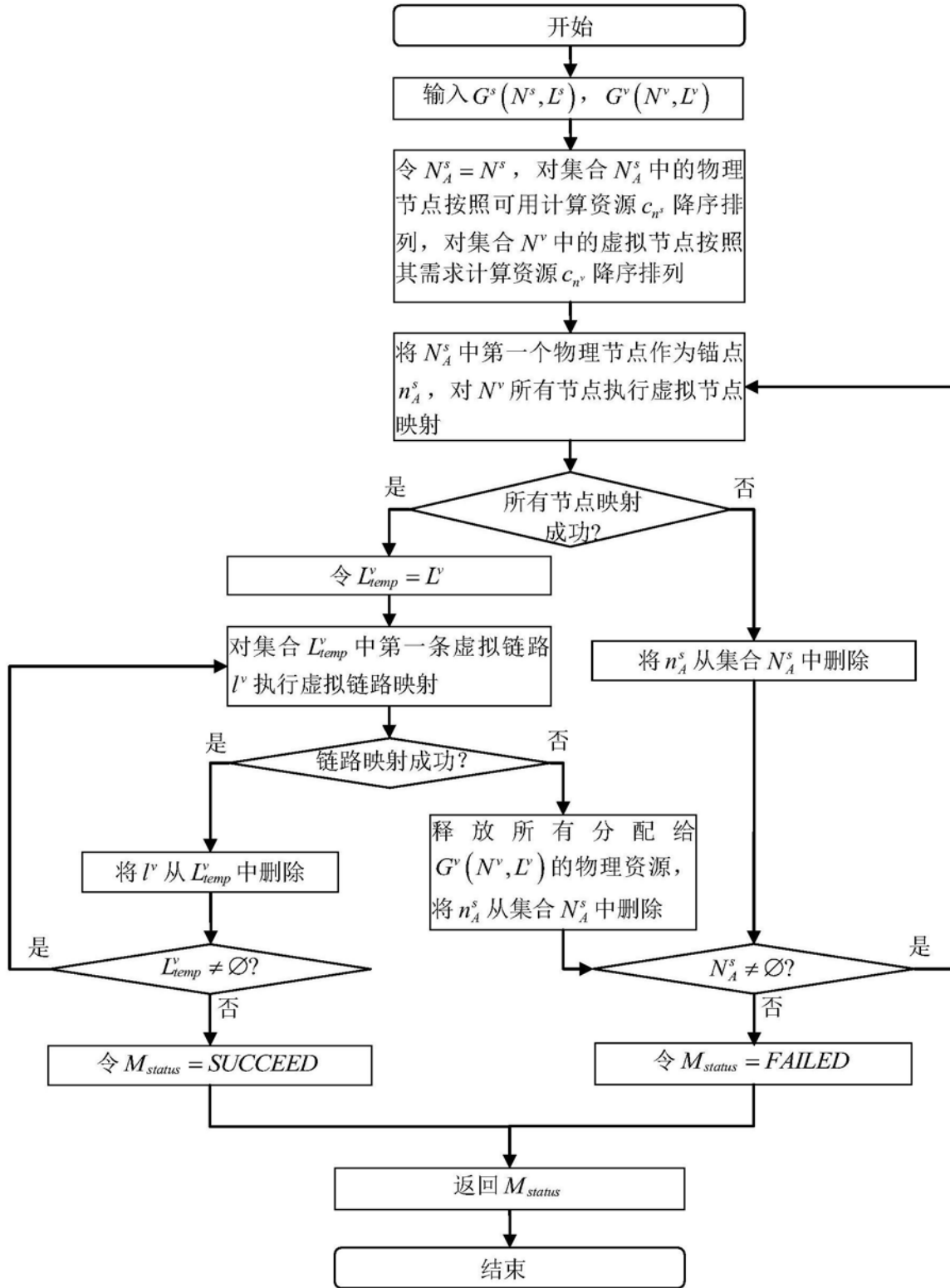


图2

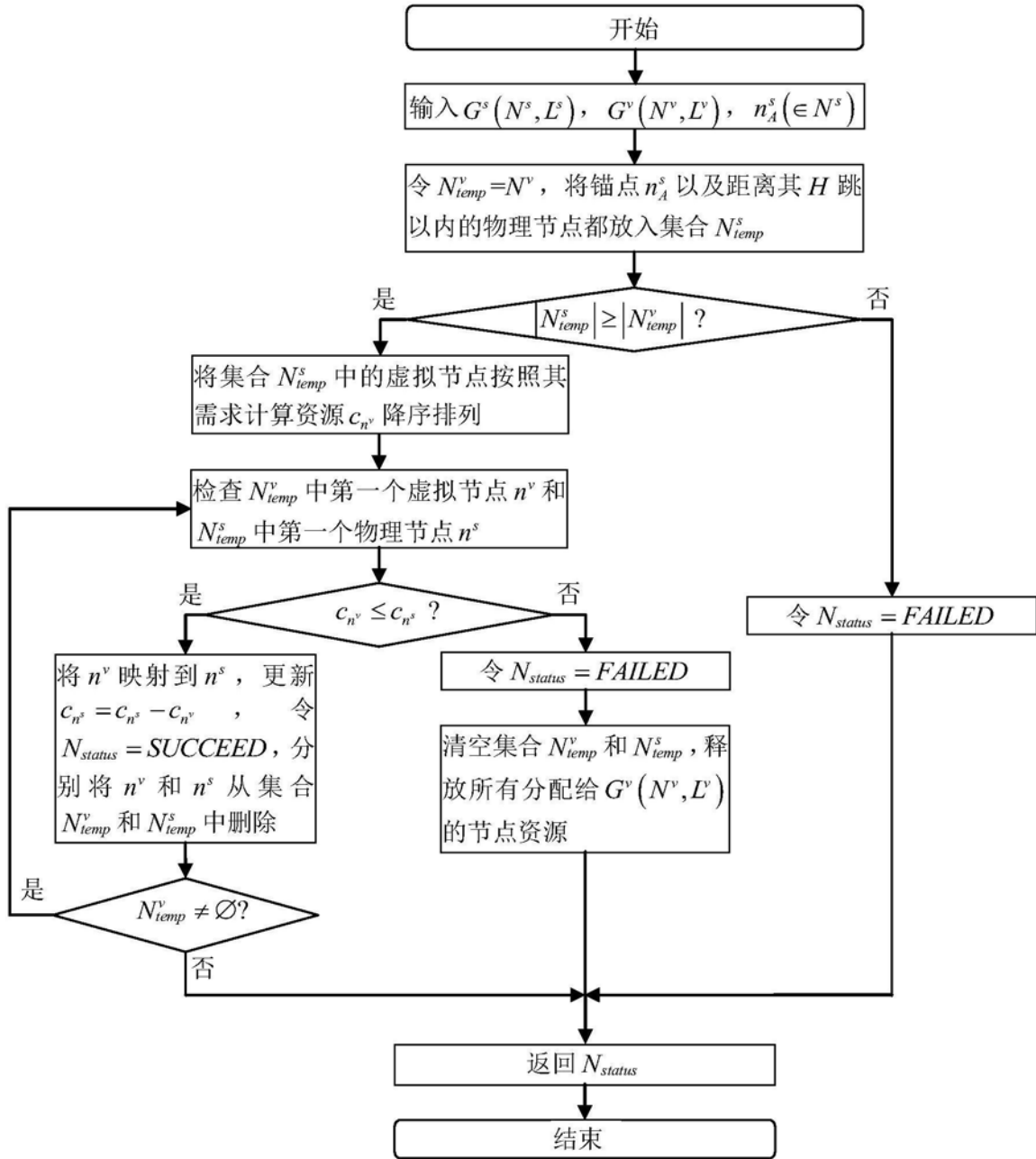


图3

