



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105557028 A

(43) 申请公布日 2016. 05. 04

(21) 申请号 201480051378. 2

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2014. 09. 17

H04W 40/12(2006. 01)

(30) 优先权数据

H04W 84/18(2006. 01)

14/030, 949 2013. 09. 18 US

H04L 12/717(2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2016. 03. 17

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2014/056096 2014. 09. 17

(87) PCT国际申请的公布数据

W02015/042149 EN 2015. 03. 26

(71) 申请人 思科技术公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 帕斯卡·舒伯特

让-菲利普·瓦瑟尔

帕特里克·韦特瓦尔德

(74) 专利代理机构 北京东方亿思知识产权代理

有限责任公司 11258

代理人 李晓冬

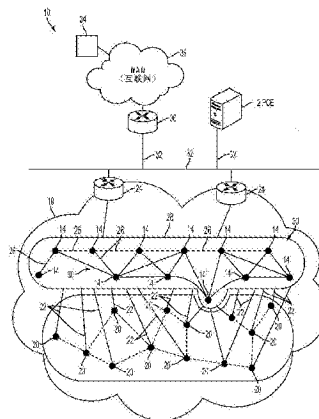
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

基于有向非循环图成员关系的用于路径计算的控制集标识

(57) 摘要

在一个实施例中,方法包括:路径计算设备接收来自成员网络设备的设备信息,每一个成员网络设备属于到低功率损耗网络中的目的地的有向非循环图;以及路径计算设备将属于有向非循环图的每一个成员网络设备归类为属于用于生成不同于任何有向非循环图的经优化的路由的控制集,该经优化的路由用于到达控制集的成员网络设备中的任何一个成员网络设备。



1. 一种方法,包括:

路径计算设备接收来自成员网络设备的设备信息,每一个成员网络设备属于到低功率损耗网络中的目的地的有向非循环图;以及

所述路径计算设备将属于有向非循环图的每一个成员网络设备归类为属于用于生成不同于任何有向非循环图的经优化的路由的控制集,该经优化的路由用于到达所述控制集的成员网络设备中的任何一个成员网络设备。

2. 如权利要求1所述的方法,还包括所述路径计算设备从所述控制集中排除任何被标识为不具有用于到达所述网络中的有向非循环图的任何附连的子网络设备的网络设备。

3. 如权利要求2所述的方法,其中从所述控制集中排除的每一个网络设备是距离所述控制集的成员中的一个成员一跳的叶子网络设备。

4. 如权利要求1所述的方法,其中所述归类包括所述路径计算设备将来自不同的有向非循环图的成员网络设备归类到所述控制集中,所述经优化的路由中的至少一个经优化的路由包括来自不同的有向非循环图的成员网络设备。

5. 如权利要求1所述的方法,其中所述来自成员网络设备的设备信息包括设备唯一标识符和设备链路信息,所述设备链路信息包括对于所述成员网络设备的任何相邻网络设备的标识。

6. 如权利要求5所述的方法,其中所述设备链路信息还包括相应的成员网络设备所使用的每一个设备链路的链路质量信息。

7. 如权利要求5所述的方法,其中每一个相邻网络设备在所述设备信息中被标识为成员网络设备或不具有用于到达有向非循环图的任何附连的子网络设备的叶子网络设备中的一者。

8. 如权利要求7所述的方法,其中:

所述归类包括所述路径计算设备将所述叶子网络设备中的一个叶子网络设备选择性地添加到所述控制集,以在所述控制集中的两个成员网络设备之间添加一个或多个经优化的路由;

所述方法还包括所述路径计算设备从所述控制集中选择性地删除任何未被任何经优化的路由使用的网络设备。

9. 如权利要求1所述的方法,还包括生成所述经优化的路由作为用于所述成员网络设备执行的时隙化信道映射路由。

10. 一种装置,包括:

网络接口电路,该网络接口电路被配置为接收来自成员网络设备的设备信息,每一个成员网络设备属于到低功率损耗网络中的目的地的有向非循环图;以及

处理器电路,该处理器电路被配置为将属于有向非循环图的每一个成员网络设备归类为属于用于生成不同于任何有向非循环图的经优化的路由的控制集,该经优化的路由用于到达所述控制集的成员网络设备中的任何一个成员网络设备。

11. 如权利要求10所述的装置,其中所述处理器电路被配置为从所述控制集中排除任何被标识为不具有用于到达所述网络中的有向非循环图的任何附连的子网络设备的网络设备。

12. 如权利要求10所述的装置,其中所述处理器电路被配置为生成所述经优化的路由

作为用于所述成员网络设备执行的时隙化信道映射路由。

13. 一种被编码在一种或多种非暂态有形介质中的用于执行的逻辑,当被机器执行时,该逻辑能操作以执行以下各项操作:

路径计算设备接收来自成员网络设备的设备信息,每一个成员网络设备属于到低功率损耗网络中的目的地的有向非循环图;以及

所述路径计算设备将属于有向非循环图的每一个成员网络设备归类为属于用于生成不同于任何有向非循环图的经优化的路由的控制集该经优化的路由用于到达所述控制集的成员网络设备中的任何一个成员网络设备。

14. 如权利要求13所述的逻辑,还能操作以生成所述经优化的路由作为用于所述成员网络设备执行的时隙化信道映射路由。

15. 一种方法,包括:

低功率损耗网络中的网络设备加入到目的地的有向非循环图;以及

所述网络设备响应于加入所述有向非循环图,将设备信息发送至路径计算设备,使所述路径计算设备能够将所述网络设备添加至用于由所述路径计算设备生成经优化的路由的网络设备的控制集,所述经优化的路由用于到达所述低功率损耗网络中的任何网络设备,所述经优化的路由不同于任何有向非循环图。

16. 如权利要求15所述的方法,其中所述设备信息包括设备唯一标识符和设备链路信息,所述设备链路信息包括对于所述网络设备的任何相邻网络设备的标识。

17. 如权利要求16所述的方法,其中所述设备链路信息还包括相应的网络设备所使用的每一个设备链路的链路质量信息,每一个相邻网络设备在所述设备信息中被标识为成员网络设备或不具有用于到达有向非循环图的任何附连的子网络设备的叶子网络设备中的一者。

18. 如权利要求15所述的方法,还包括所述网络设备接收来自所述路径计算设备的一个或多个经优化的路由作为用于到达所述低功率损耗网络中的相应的目的地的时隙化信道映射路由。

19. 一种被编码在一个或多个非暂态有形介质中的用于执行的逻辑。当被及其执行时,所述逻辑能操作以执行以下各项操作:

低功率损耗网络中的网络设备加入到目的地的有向非循环图;以及

所述网络设备响应于加入所述有向非循环图,将设备信息发送至路径计算设备,使所述路径计算设备能够将所述网络设备添加至用于由所述路径计算设备生成经优化的路由的网络设备的控制集,该经优化的路由用于到达所述低功率损耗网络中的任何网络设备,所述经优化的路由不同于任何有向非循环图。

20. 如权利要求19所述的逻辑,还能操作以用于所述网络设备接收来自所述路径计算设备的一个或多个经优化的路由作为用于到达所述低功率损耗网络中的相应的目的地的时隙化信道映射路由。

## 基于有向非循环图成员关系的用于路径计算的控制集标识

### 技术领域

[0001] 本公开一般涉及对具有大量网络设备的设备网络(例如,具有成千(上万)个传感器设备的低功率损耗网络(LLN))中的网络设备之间的时隙化信道跳跃(channel hopping)路由进行优化的路径计算元件(PCE)。

### 背景技术

[0002] 这部分描述了可以被采用的方法,但并不一定是此前已经被设想或采用的方法。因此,除非明确指出,否则这部分所描述的任何方法均不是本申请的权利要求的现有技术,并且这部分所描述的任何方法不因为被包括在这部分中而被承认为现有技术。

[0003] 低功率和损耗网络(LLN)允许大量(例如,成千上万)的资源受限设备被互联以形成无线网状网。互联网工程任务组(IETF)已经提出了使用基于IEEE 802.15.4e的时隙化信道跳跃(TSCH)来提供IPv6路由的路由协议(“6TiSCH”)。尽管诸如路径计算实体(PCE)之类的集中式实体可以被用于小数目不同网络设备之间的路由计算,但是PCE计算TSCH调度的复杂度将网络中的网络设备的数目限制为少于一百(100)个网络设备,或者更典型地不多于约三十(30)个网络设备,这是因为PCE不能维持较大数目的网络设备之间的对等。因此,PCE不能计算包含较大数目的网络设备的数据网络中的网络设备之间的6TiSCH路由。

### 附图说明

[0004] 参考附图,其中具有相同参考数字标号的元素自始至终表示相似的元素,并且其中:

[0005] 图1根据示例性实施例示出具有用于将属于有向非循环图的网络设备归类为属于用于生成网络内的经优化的路由的控制集(dominating set)的装置的示例性系统;

[0006] 图2根据示例性实施例示出具有图1的网络内的经优化的路由的网络设备的示例性控制集;

[0007] 图3根据示例性实施例示出图1的网络设备或路径计算设备中的任何一个的示例性实施方式;

[0008] 图4根据示例性实施例示出图1的网络设备和路径计算设备的示例性方法,该方法导致生成低功率损耗网络内的经优化的路由。

### 具体实施方式

#### [0009] 概述

[0010] 在一个实施例中,方法包括:路径计算设备接收来自成员网络设备的设备信息,每一个成员网络设备属于到低功率损耗网络中的目的地的有向非循环图;以及路径计算设备将属于有向非循环图的每一个成员网络设备归类为属于用于生成不同于任何有向非循环图的经优化的路由的控制集,该经优化的路由用于到达该控制集中的任何一个成员网络设备。

[0011] 在另一实施例中,装置包括网络接口电路和处理器电路。网络接口电路被配置为接收来自成员网络设备的设备信息,每一个成员网络设备属于到最低功率损耗网络中的目的地的有向非循环图。处理器电路被配置为将属于有向非循环图的每一个成员网络设备归类为属于用于生成不同于任何有向非循环图的经优化的路由的控制集,以到达该控制集中的任何一个成员网络设备。

[0012] 在另一实施例中,方法包括:低功率损耗网络中的网络设备加入到目的地的有向非循环图;以及网络设备响应于加入有向非循环图,向路径计算设备发送设备信息,使该路径计算设备能够将网络设备添加至用于由路径计算设备生成用于到达低功率损耗网络中的任何一个网络设备的经优化的路由的网络设备的控制集,该经优化的路由不同于任何有向非循环图。

[0013] 详细描述

[0014] 图1根据示例性实施例示出示例性系统10,该示例性系统10具有用于将属于有向非循环图(DAG)16的网络设备14归类为属于用于生成网络18内的经优化的路由(图2中的30)的控制集(图2中的28)。

[0015] 具体实施例基于使用作为DAG 16的成员的网络设备14,使能对要被路径计算元件(PCE)设备12用于生成低功率损耗网络18(其可包含成千上万的网络设备14、20)中的经优化的时隙化信道映射路由30的网络设备16的有效识别。在网络18中使用时隙化信道映射路由(例如,根据6TiSCH)需要沿着该时隙化信道映射路由的所有网络设备14在多个不同的频率信道上是时间同步的,以建立用于传输数据流的确定性网络。“确定性网络”是可在需要网络资源的精确时间处保证网络资源(例如,数据缓冲器、处理器容量、网络介质访问等等)的分配的数据网络。因此,所标识的需要经由网络设备“B”14从网络设备“A”14发送至网络设备“C”14的数据流的数据分组可以被分配有规定的6TiSCH时隙化信道映射路由(或“路径”),该路由具有这样的顺序:在时隙“t0”处网络设备“A”在频率信道“10”上将数据分组发送至网络设备“B”,随后在时隙“t1”处网络设备“B”在频率信道“3”上将数据分组发送至网络设备“C”。术语“路径”被定义为由时隙序列同步的、沿着多跳路径映射的频率信道的确定性序列,其中“时隙序列”可以包括一个或多个用于重传尝试的重试缝隙(例如,每一跳对应于一个重试缝隙),并且多跳路径可以根据不同的拓扑结构来实施,例如美国专利公告号No. 2012/0300668中所述的弧形链和帧复制。

[0016] 从前述内容可以明显得知,计算确定性网络中的时隙化信道映射路由30的相对复杂度对PCE设备12是不可伸缩的,特别是因为许多优化限制(例如,延迟、吞吐量、最小误差率等等)可以导致NP完全问题(不确定性的多项式时间),该NP完全问题导致随着网络设备14、20的数量增加,找到针对增加数量的受限路径的可接受方案的计算成本呈指数增长。

[0017] 具体实施例基于将任何属于到规定目的地的有向非循环图16的成员网络设备14归类为属于用于计算经优化的时隙化信道映射路由30的网络设备的控制集(DS)28,使能对要被用于计算较低功率损耗网络18中的经优化的时隙化信道映射路由30的网络设备的有效识别。“控制集”是网络中被连接的网络设备的可识别集合,其中网络中的任何网络设备是控制集的成员14,或经由数据链路22与控制集的成员14(即“成员网络设备”)距离仅仅一跳的“叶子网络设备”20。本文(以及权利要求)中所使用的术语“叶子网络设备”被定义为这样的网络设备:(1)附连到有向循环图16的成员网络设备14;和(2)具有任何与之附连的

“子”网络设备。换句话说,如下面针对操作54所述的,在另一网络设备(例如,“Y”)附连到网络设备(例如,“X”)的情况下,网络设备“X”的状态可以从“叶子网络设备”改变为“成员网络设备”。因此,每一个叶子网络设备20经由相应的数据链路22是一个或多个成员网络设备14的邻居,并且每一个成员设备14可以提供到网络18中的任何其他网络设备14、20的可达性。图1示出一般简化的用于与有向非循环图16通信的叶子网络设备20的数据链路22:将很容易理解的是实际的数据链路22将在叶子网络设备20和一个或多个成员网络设备14之间。

[0018] 另外,具体实施例响应于创建或加入到目的地(例如,骨干路由器)24的DAG 16的任何网络设备14加入DAG 16,使能网络设备14(例如,经由有线数据链路32)向PCE设备12发送设备信息,该设备信息包括唯一设备标识符和关于成员网络设备14所使用的用于连接网络18中的任何其他网络设备14、20的任何数据链路22、26的设备链路信息。例如RFC6550、美国公告号No.2012/0300668和/或美国专利号No.7,860,025中所述,每一个网络设备14可以根据所规定的限制或参数独立决定创建和/或加入有向非循环图(DAG)16,该限制或参数根据规定的参数使能对DAG 16的优化:根据规定的参数对DAG 16的优化在RFC 6550中也被称作“目标函数”。由于成员网络设备14基于成员网络设备14之间的分布式计算建立DAG 16,对成员网络设备14和这些成员网络设备14所提供的关联数据链路22、26的标识使能PCE 12将每一个成员网络设备14归类为属于用于生成经优化的路由30的控制集28。

[0019] 因此,有向非循环图16的成员网络设备14表示覆盖链路层网状网络的初步优化的拓扑结构(根据所规定的目标函数),该链路层网状网络是网络18中的网络设备14、20的总数的子集,其中成员网络设备14的总数可以比叶子网络设备20的总数小一个或多个数量级。

[0020] 因此,PCE设备12可以基于成员网络设备14的明显小得多的子集,通过对低功率损耗网络18的进一步优化来生成经优化的路由30,以保证由PCE设备12生成经优化的路由30的可伸缩性。如图1和图2所示,经优化的路由30与DAG 16不同,并且经优化的路由30使能网络设备14、20在低功率损耗网络18内发送和接收数据流。来自低功率损耗网络18的数据流还可以经由网络路由器设备36和广域网(例如,互联网)38被发送至或发送自远程计算设备34。

[0021] 图3是根据示例性实施例示出PCE设备12、网络设备14、20和/或路由器设备24或36中的任何一个的示例性实施方式的图示。图3的装置(例如,12、14、20、24和/或36)是这样的物理机器(即,硬件设备):其被配置用于经由数据网络18实现与其他物理机器的通信。在下面更加详细地描述中,图3的装置(例如,12、14、20、24和/或36)可以包括一个或多个网络接口电路40、一个或多个处理器电路42以及一个或多个存储器电路44。

[0022] 任何被公开的电路(包括网络接口电路40、处理器电路42、存储器电路44及它们的关联组件)可以以多种方式来实现。被公开的电路的示例性实施方式包括被实现在逻辑阵列(例如,可编程逻辑阵列(PLA)、现场可编程门阵列(FPGA))中的硬件逻辑或者由掩膜编程集成电路(例如,专用集成电路(ASIC))实现的硬件逻辑。这些电路中的任何一个还可以使用基于软件的可执行资源来实现,该基于软件的可执行资源由相应的内部处理器电路(例如,微处理器电路(未示出))执行,并且使用一个或多个集成电路来实现,其中对存储在内部存储器电路(例如,在存储器电路44中)中的可执行代码的执行导致实现处理器电路的(一个或多个)集成电路将应用状态变量存储在处理器存储器中,从而创建执行本文所述的

电路的操作的可执行应用资源(例如,应用实例)。因此,本说明书对术语“电路”的使用指的是使用一个或多个集成电路实现的并且包括用于执行所述操作的逻辑的基于硬件的电路,或者包括(使用一个或多个集成电路实现的)处理器电路的基于软件的电路,该处理器电路包括保留部分的处理器存储器以用于存储由处理器电路执行可执行代码来改变的应用状态数据和应用变量。存储器电路44可以例如使用非易失性存储器(例如,可编程只读存储器(PROM)或EPROM))和/或易失性存储器(例如,DRAM)等等来实现。

[0023] 另外,任何对“输出消息”或“输出分组”(或诸如此类)的引用可以基于创建采用数据结构形式的消息/分组并且将该数据结构存储在所公开的装置中的非暂态有形存储器介质(例如,在传输缓冲器中)中来实现。任何对“输出消息”或“输出分组”(或诸如此类)的引用还可以包括通过通信介质(例如,依情况而定的有线或无线链路)电发送(例如,经由依情况而定的有线电流或无线电场)存储在非暂态有形存储器介质中的消息/分组至另一网络设备(依情况而定也可以使用光传输)。类似地,任何对“接收消息”或“接收分组”(或诸如此类)的引用可以基于所公开的装置检测通信介质上的消息/分组的电(或光)传输,并且将检测到的传输存储为所公开的装置中的非暂态有形存储器介质中(例如,在接收缓冲器中)的数据结构来实现。还应当注意的是存储器电路23可以由存储器电路42动态地实现,例如基于处理器电路42执行的存储器地址分配和划分来实现。

[0024] 图4根据示例性实施例示出图1和2的路径计算设备12和网络设备14导致生成低功率损耗网络18内的经优化的路由30的示例性方法。针对图1-4中的任意一者所述的操作可以被实施为存储在计算机或机器可读非暂态有形存储介质(例如,软盘、硬盘、ROM、EEPROM、非易失性RAM、CD-ROM等等)上的可执行代码,这些操作基于使用一个或多个集成电路实施的处理器电路对代码的执行来完成;本文所述的操作还可以被实施为可执行逻辑,其被编码在用于执行的一个或多个非暂态有形介质(例如,可编程逻辑阵列或设备、现场可编程门阵列、可编程阵列逻辑、专用集成电路等等)中。

[0025] 此外,针对图1-4中的任意一者所述的操作可以以任意适当的顺序来执行,或者至少部分操作被并行执行。对本文所述的操作的执行仅通过示例的方式示出;由此,这些操作不一定需要被如本文所述的基于机器的硬件组件来执行;相反,其他基于机器的硬件组件也可以被用于以任意适当的顺序来执行所公开的操作,或并行执行至少部分操作。

[0026] 现在参考图4的操作50,无线网状网18中的每一个网络设备14、20的网络接口电路40可以建立一个或多个无线数据链路,如图1和2中所示的22、26、和/或46。因此,每一个网络设备14、20具有到另一网络设备的至少一个链路层连接以形成网状网络。

[0027] 在操作52中,网络18中的网络设备的子集的处理器电路42可以例如根据RFC 6550和/或美国专利号No.7,860,025,例如基于交换邻居通告消息来决定加入和/或创建有向非循环图16,其中这些网络设备中的一个网络设备通告到目的地根24的可达性。如图1所示,加入朝向目的地24的有向非循环图(DAG)16的每一个网络设备14可以根据规定的目标函数选择性地选出它在有向非循环图16内的连接。

[0028] 某些网络设备20的处理器电路42可以在操作54中决定附连至经由成员网络设备14所提供的设备链路22与之距离一跳远的相邻成员网络设备14。因此,在一个实施例中,每一个网络设备可以决定是否作为成员网络设备14加入有向非循环图16,或者作为叶子网络设备20附连到相邻成员网络设备14。

[0029] 在操作54中,叶子网络设备20还可以检测它的状态(例如,执行操作52)改变为成员网络设备14。例如,叶子网络设备“X”20可以例如,通过输出如RFC 6550所述的DODAG信息对象(DIO)对其已经加入的DODAG 16进行通告。响应于叶子网络设备“X”20检测到另一叶子网络设备“Y”20已经与其附连以便于加入被通告的DODAG 16(例如,基于叶子网络设备“Y”20向网络设备“X”发送如RFC 6550中的目的地通告对象(DIO)以请求单播缝隙的调度),网络设备“X”20可以检测到它已经变成成员网络设备14,并且作为响应执行适当的成员网络设备操作,如下所述。

[0030] 例如,如果成员网络设备14检测到没有其他网络设备14、20与其附连,那么它还可以检测到它的状态改变为叶子网络设备20。因此,“成员网络设备”14或“叶子网络设备”20的名称可以基于DAG 16的拓扑内的网络设备的附连状态而改变。

[0031] 如前所述,有向非循环图16的形成通常导致明显少得多的成员网络设备14和较大数量的叶子网络设备20。

[0032] 在操作56中,每一个成员网络设备14的处理器电路42可以(通过其网络接口电路40)例如经由相应的DODAG 16向PCE设备12(即,路径计算设备12)发送设备信息。每一个成员网络设备14的处理器电路42可以响应于加入DODAG 16,和/或响应于所检测的邻居的改变,和/或响应于链路质量(例如,链路22和/或26中的一者)的改变发送设备信息。示例性设备信息可以包括设备唯一标识符(例如,MAC地址)、DODAG 16的标识符(例如,目的地根24的网络地址)和成员网络设备14的每一条链路的设备链路信息。示例性设备链路信息可以包括相邻网络设备14或20的设备标识符、对相邻网络设备类型的标识(即,相邻设备是成员网络设备14还是叶子网络设备20)。示例性设备链路信息还可以包括链路质量信息,例如RFC 6551中所述的链路度量、ETX度量(所期望的传输次数)、所接收的信号强度指示符(RSSI)、链路质量指示符(LQI)等等。

[0033] 在操作56中,每一个成员网络设备14的处理器电路42还可以转发叶子网络设备20所使用的邻居链路46的链路信息,叶子网络设备20将与邻居链路46相关联的链路质量信息发送至成员网络设备14以提供叶子网络设备20的可达性。如下所述,在优化时隙化信道映射路由30期间,PCE设备12可以例如,基于做出将叶子网络设备(图2中的14')选择性地添加至控制集28以便于填补控制集的网络设备14之间的间隙的决定来使用邻居链路46的链路信息。

[0034] 因此,成员网络设备14可以向同一RPL实例(如RFC 6550所述)内的所有邻居设备通告,无论这些邻居设备是否共享相同的DODAG标识符(也就是说,无论邻居设备是否属于另一DODAG)。如下面针对操作62所描述的,无论邻居设备是否共享相同的DODAG标识符,该邻居信息基于将来自不同DAG 16的成员网络设备14归类到相同的控制集28中,使能跨越多个DAG 16创建TSCH路由。

[0035] 在操作60中,PCE设备12的网络接口电路40被配置用于经由数据链路32和网关24接收操作56中的成员网络设备14发送的设备信息。如针对操作56所述的,设备信息可以标识成员网络设备14、叶子网络设备20和关联的数据链路22、26和46。PCE设备12的处理器电路42被配置为在操作60中将每一个成员网络设备14归类为属于在操作62中被PCE设备12的处理器电路42用于生成经优化的时隙化信道(TSCH)映射路由30的控制集28。如图1和2所示,经优化的路由30不同于DAG 16。



[0036] 如操作60所示,PCE设备12的处理器电路42还被配置用于从控制集28中排除被标识为不具有与之附连以到达网络18中的有向非循环图16的任何子网络设备的任何网络设备,也就是叶子网络设备20。因此,PCE设备12可以以可伸缩的方式,通过仅使用成员网络设备14而排除任何叶子网络设备20来生成经优化的路由30。如操作62所示,PCE设备12可以将来自不同的DODAG 16(即具有不同目的地28的DAG)的成员网络设备14归类(即,添加)到控制集28。因此,由PCE设备12生成的经优化的路由30可以合并来自不同DODAG 16的成员网络设备14。

[0037] PCE设备12的处理器电路42还可以被配置为响应于在操作64中检测到控制集的网络设备14之间存在间隙,在操作66中将叶子网络设备(图2中的14')选择性地添加到控制集28。类似地,PCE设备12的处理器电路42可以被配置为在操作68中从控制集28选择性地删除在任何经优化的路由30中均未被使用的网络设备14。

[0038] 在操作70中,每一个成员网络设备14可以接收来自PCE设备12的、用于到达网络18中的控制集28(和附连的叶子网络设备20)的各个目的地的一个或多个时隙化信道映射路由。因此,操作72中的每一个网络设备14可以根据PCE设备12生成的TSCH路由30在低功率损耗网络18中路由数据流量。

[0039] 根据示例性实施例,PCE设备12可以基于根据网络设备的子集是有向非循环图的成员网络设备仅将网络设备的子集归类为控制集来生成针对具有成千上万个网络设备的低功率损耗网络的时隙化信道映射路由。对来自有向非循环图的成员网络设备的使用和对叶子网络设备的谨慎排除使对例如具有成千上万个网络设备的传感器网络之类的低功率损耗网络的优化成为可能。

[0040] 尽管已经结合目前被认为是用来实现所附权利要求规定的主题的最佳模式对本公开的示例性实施例进行了描述,但是应当理解的是示例性实施例仅仅是说明性的,并非限制所附权利要求规定的主题。

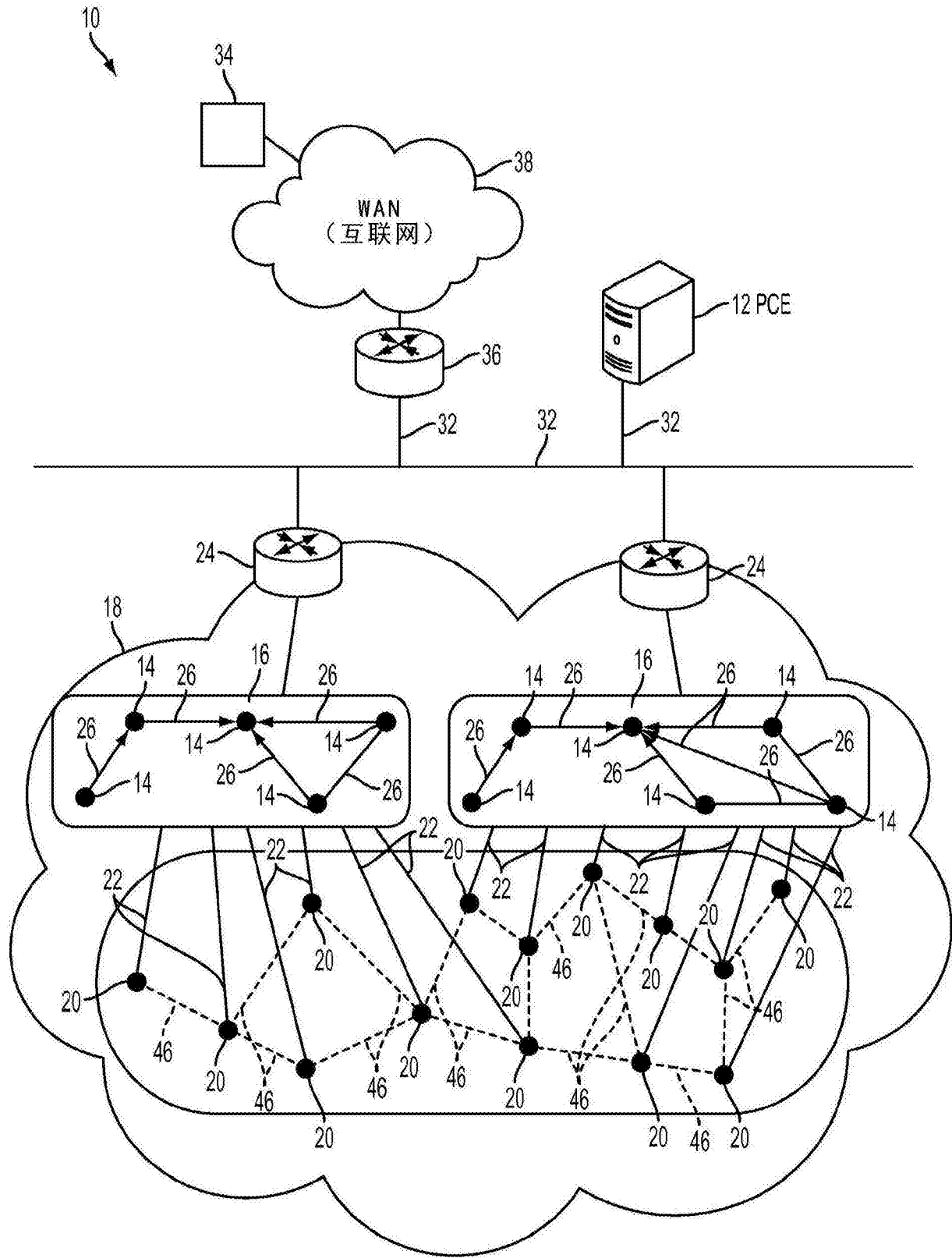


图1

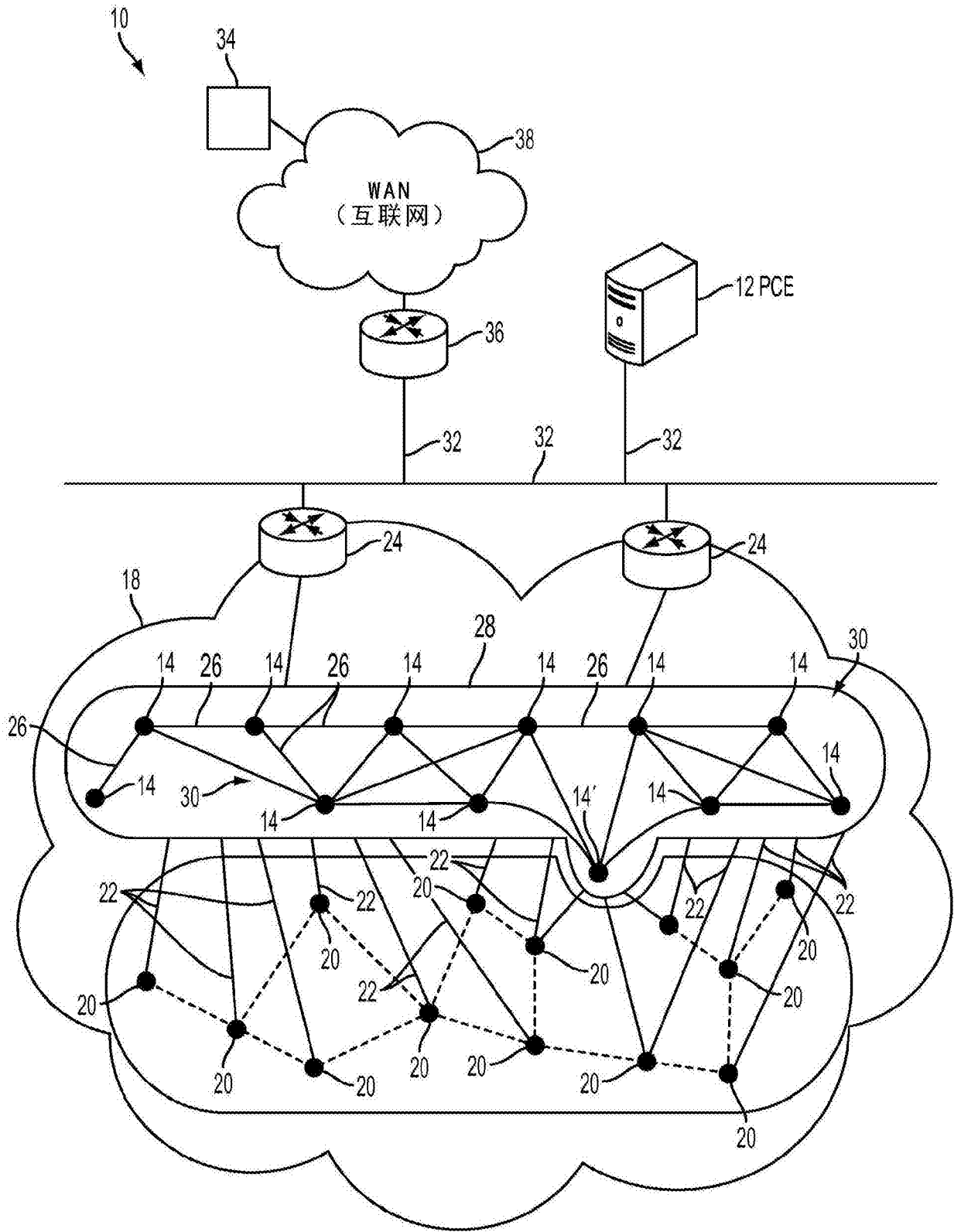


图2

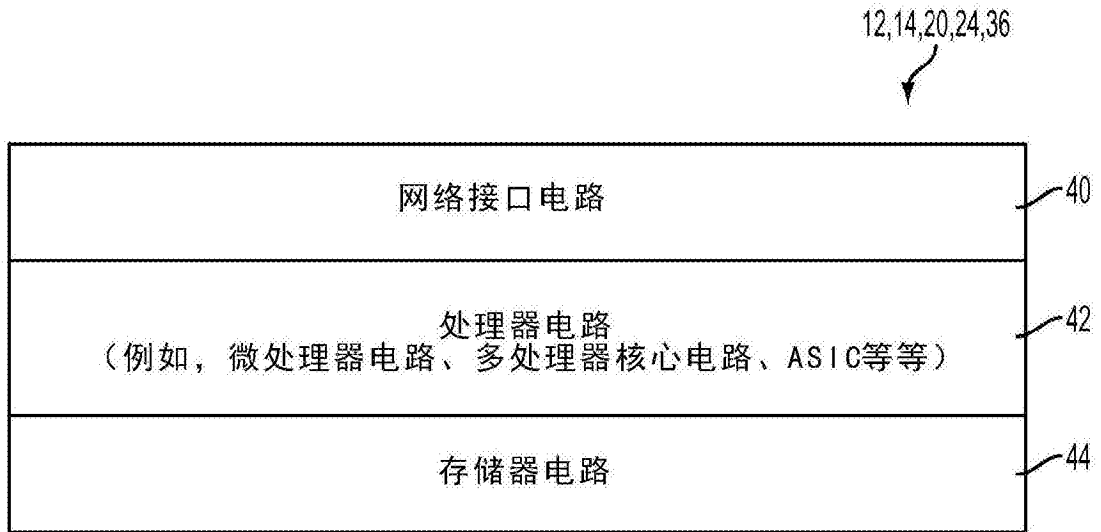


图3

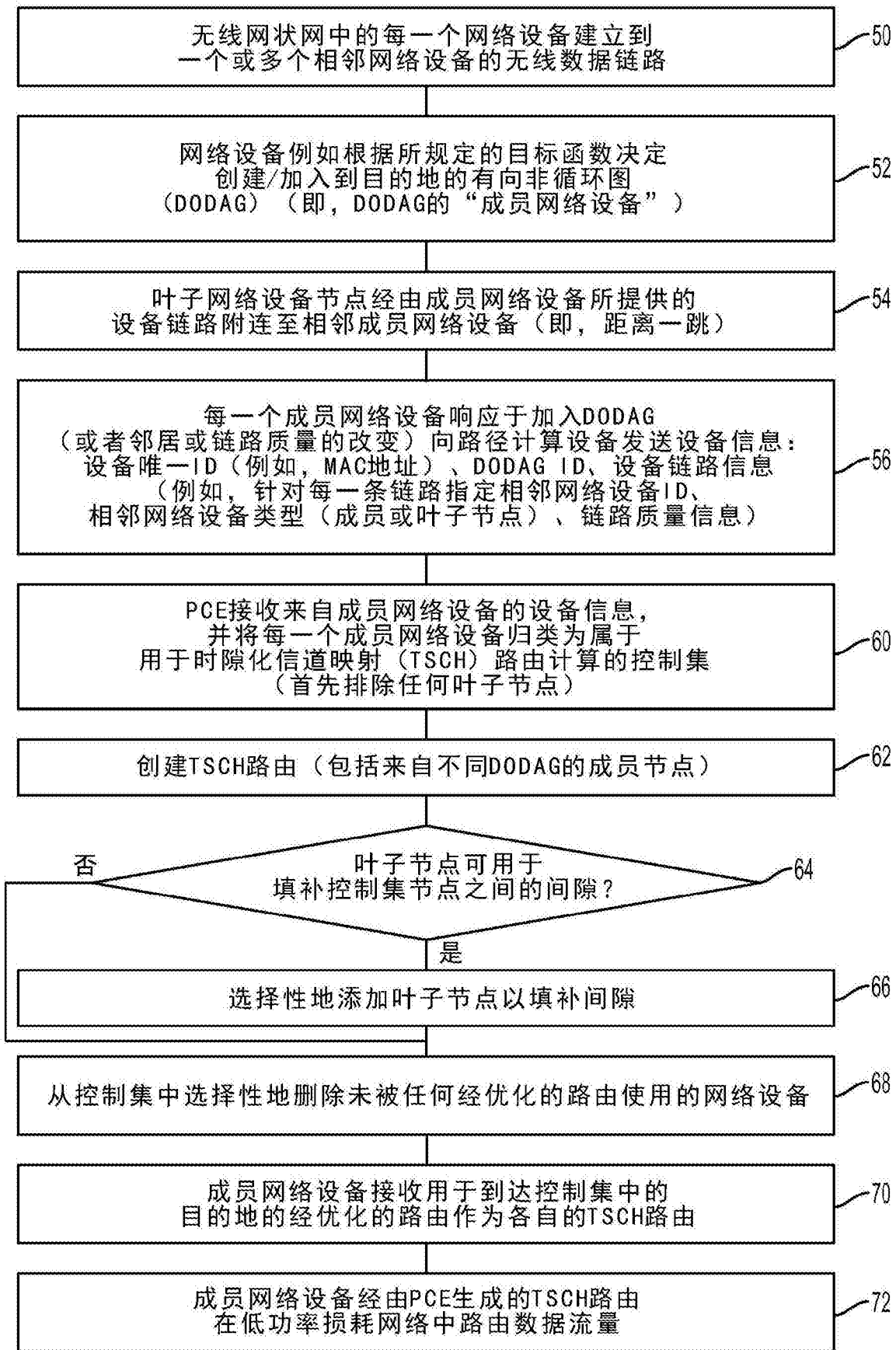


图4