



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102971988 B

(45) 授权公告日 2016. 04. 06

(21) 申请号 201180014595. 0

(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

(22) 申请日 2011. 03. 15

代理人 宋鹤

(30) 优先权数据

12/727, 893 2010. 03. 19 US

(51) Int. Cl.

H04L 12/28(2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012. 09. 18

审查员 翁平

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2011/000470 2011. 03. 15

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/115668 EN 2011. 09. 22

(73) 专利权人 思科技术公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 帕斯卡尔·蒂贝尔

帕特里克·韦特瓦尔德

让-菲利普·瓦瑟尔

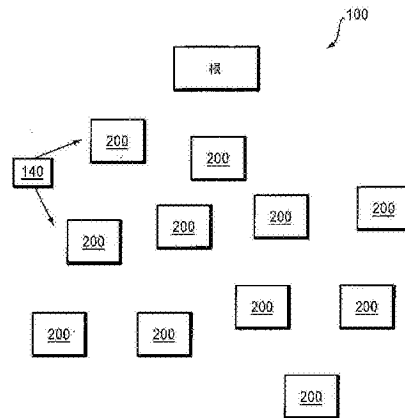
权利要求书3页 说明书9页 附图18页

(54) 发明名称

用于有向无环图 (DAG) 路由的替代下行路径

(57) 摘要

在一个实施例中,利用有向无环图(DAG)的计算机网络内的节点“N”选择 DAG 内的父节点“P”,并且在P不是 DAG 的根节点时,可以确定祖父节点“GP”作为父节点 P 的父节点。然后,节点 N 也可以选择与 GP 和 N 连接的替代父节点“P'”。N 随后可以通知 P 和 P' 关于经由 N 可到达的前缀以及关于作为 P 的替代父节点到达经由 N 可到达的前缀的 P' 的信息。此外,在一个实施例,P 可以被配置为通知 GP 关于经由 N 可到达的前缀以及关于作为 P 的替代父节点到达经由 N 可到达的前缀的 P' 的信息,并且 P' 可被配置为存储经由 N 可到达的前缀,而不通知其它节点关于那些前缀的信息。



1. 一种用于有向无环图路由的方法,包括:

由利用有向无环图 DAG 路由分组的计算机网络内的节点 N 选择所述 DAG 内的父节点 P;  
作为对所述父节点 P 不是所述 DAG 的根的反应,由所述节点 N 确定作为所述父节点 P 的父节点的祖父节点 GP;

由所述节点 N 选择具有到所述祖父节点 GP 和所述节点 N 的连接的代表父节点 P'; 以及

从所述节点 N 通知所述父节点 P 和所述替代父节点 P' 关于经由所述节点 N 可到达的前缀以及关于作为所述父节点 P 的替代父节点到达经由所述节点 N 可到达的所述前缀的所述替代父节点 P',

其中,所述节点 N 在上行方向和下行方向都具有选择的父节点 P 和选择的替代父节点 P'。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述父节点 P 被配置为通知所述祖父节点 GP 关于所述经由所述节点 N 可到达的前缀以及关于作为所述父节点 P 的替代父节点到达经由所述节点 N 可到达的所述前缀的所述替代父节点 P', 并且其中所述替代父节点 P' 被配置为存储经由所述节点 N 可到达的所述前缀,而不通知其它节点关于经由所述节点 N 可到达的所述前缀。

3. 根据权利要求 1 所述的方法,还包括:

由所述节点 N 从所述节点 N 的子节点 C 接收关于所述前缀中的一个或多个的信息,所述信息具有关于具有到所述父节点 P 和所述子节点 C 的连接的所述子节点 C 的替代父节点 N' 的指示; 以及

从所述节点 N 通知所述父节点 P 和所述替代父节点 P' 关于经由所述子节点 C 可到达的前缀以及关于作为所述节点 N 的替代父节点到达所述经由所述子节点 C 可到达的前缀的所述替代父节点 N'。

4. 根据权利要求 3 所述的方法,其中所述节点 N 具有到所述替代父节点 N' 的连接,所述方法还包括:

建立所述节点 N 与所述替代父节点 N' 之间的兄弟连接。

5. 根据权利要求 1 所述的方法,还包括:

由所述节点 N 从所述节点 N 的多个子节点接收关于所述前缀中的一个或多个的信息,所述信息具有关于具有到所述父节点 P 和相应子节点的连接所述节点 N 的多个子节点中的每一个子节点的替代父节点的指示; 以及

从所述节点 N 通知所述父节点 P 和所述替代父节点 P' 关于经由所述多个子节点中的每一个子节点可到达的前缀以及关于作为 N 的替代父节点到达经由相应的子节点可到达的前缀的每个相应的替代父节点。

6. 根据权利要求 1 所述的方法,还包括:

由所述节点 N 从所述节点 N 的子节点 C 接收关于所述前缀中的一个或多个的信息,所述信息具有关于所述节点 N 是具有到所述子节点 C 的祖父节点和到所述子节点 C 的连接的所述子节点 C 的替代父节点的指示; 以及

由所述节点 N 存储经由所述子节点 C 可到达的前缀。

7. 根据权利要求 1 所述的方法,还包括:

由所述节点 N 从所述节点 N 的子节点 C 接收关于所述前缀的一个或多个的信息,所述信息具有关于所述前缀经由所述节点 N 途经所述子节点 C 的孙节点到达的指示以及关于具有到所述节点 N 和孙节点 GC 的连接的说道孙节点 GC 的替代父节点 C' 的指示;以及

由所述节点 N 存储利用通过所述子节点 C 的路径经由所述孙节点 GC 可到达的前缀,所述通过所述子节点 C 的路径具有通过所述替代父节点 C' 的替代路径。

8. 根据权利要求 1 所述的方法,还包括:

向从所述节点 N 开始的 DAG 中广告所述节点 N 可见的邻居列表。

9. 根据权利要求 1 所述的方法,还包括:

向从所述节点 N 开始的 DAG 中广告所述父节点 P 是所述节点 N 的父节点。

10. 根据权利要求 1 所述的方法,还包括:

由所述节点 N 选择具有到所述祖父节点 GP、所述节点 N 以及所述父节点 P 的连接的替代父节点 P'。

11. 根据权利要求 1 所述的方法,还包括:

基于所述 DAG 的目标函数 (OF) 选择所述父节点 P 和所述替代父节点 P'。

12. 根据权利要求 1 所述的方法,还包括:

利用根据用于低功率有损网络 (RPL) 的路由协议的 DAG 路由。

13. 一种用于有向无环图路由的装置,包括:

一个或多个网络接口,被适配为与被配置为利用有向无环图 DAG 路由分组的计算机网络的节点通信;

处理器,被耦接到所述网络接口并被适配为执行一个或多个过程;以及

存储器,被适配为存储所述处理器可执行的过程,所述过程在被执行时可操作用于:

选择所述 DAG 内的父节点 P;

作为对所述父节点 P 不是所述 DAG 的根响应,确定作为所述父节点 P 的父节点的祖父节点 GP;

选择具有到所述祖父节点 GP 和所述装置的连接的替代父节点 P';以及

通知所述父节点 P 和所述替代父节点 P' 关于经由所述装置可到达的前缀以及关于作为所述父节点 P 的替代父节点到达经由所述装置可到达的前缀的所述替代父节点 P',

其中,所述节点 N 在上行方向和下行方向都具有选择的父节点 P 和选择的替代父节点 P'。

14. 根据权利要求 13 所述的装置,其中所述父节点 P 被配置为通知所述祖父节点 GP 关于经由所述装置可到达的前缀以及关于作为所述父节点 P 的替代父节点到达经由所述装置可到达的前缀的所述替代父节点 P',并且其中所述替代父节点 P' 被配置为存储经由所述装置可到达的前缀,而不通知其它节点关于经由所述装置可到达的前缀,并且其中所述过程还可操作用于:

从所述装置的子节点 C 接收关于所述前缀中的一个或多个的信息,所述信息具有关于具有到所述父节点 P 和所述子节点 C 的连接的说道子节点 C 的替代父节点 N' 的指示;以及

通知所述父节点 P 和所述替代父节点 P' 关于经由所述子节点 C 可到达的前缀以及关于作为所述装置的替代父节点到达所述经由所述子节点 C 可到达的前缀的所述替代父节点 N'。

15. 根据权利要求 13 所述的装置,其中所述过程在被执行时还可操作用于:

从所述装置的子节点 C 接收关于所述前缀中的一个或多个的信息,所述信息具有关于具有到所述父节点 P 和所述子节点 C 的连接的说道子节点 C 的替代父节点 N' 的指示;以及通知所述父节点 P 和所述替代父节点 P' 关于经由所述子节点 C 可到达的前缀以及关于作为所述装置的替代父节点到达所述经由所述子节点 C 可到达的前缀的说道替代父节点 N'。

16. 根据权利要求 13 所述的装置,其中所述过程在被执行时还可操作用于:

从所述装置的多个子节点接收关于所述前缀中的一个或多个的信息,所述信息具有关于具有到所述父节点 P 和相应子节点的连接的说道装置的多个子节点中的每个子节点的替代父节点的指示;以及

通知所述父节点 P 和所述替代父节点 P' 关于经由所述多个子节点中的每个子节点可到达的前缀以及关于作为所述装置的替代父节点到达经由相应的子节点可到达的前缀的每个相应的替代父节点。

17. 根据权利要求 13 所述的装置,其中所述过程在被执行时还可操作用于:

从所述装置子节点 C 接收关于所述前缀中的一个或多个的信息,所述信息具有关于所述装置是具有到所述子节点 C 的祖父节点和到所述子节点 C 的连接的说道子节点 C 的替代父节点的指示;以及

存储经由所述子节点 C 可到达的前缀。

18. 根据权利要求 13 所述的装置,其中所述过程在被执行时还可操作用于:

从所述装置子节点 C 接收关于所述前缀中的一个或多个的信息,所述信息具有关于所述前缀可经由所述装置途经所述子节点 C 的孙节点到达的指示以及关于具有到所述装置和孙节点 GC 的连接的说道孙节点 GC 的替代父节点 C' 的指示;以及

存储利用通过所述子节点 C 的路径经由所述孙节点 GC 可到达的前缀,所述通过所述子节点 C 的路径具有通过所述替代父节点 C' 的替代路径。

## 用于有向无环图 (DAG) 路由的替代下行路径

### 技术领域

[0001] 本发明一般地涉及计算机网络,并且更具体地涉及例如用于低功率有损网络 (LLN) 的有向无环图 (DAG) 路由。

### 背景技术

[0002] 各种网路协议可以被用在计算机网络中以形成有向无环图 (DAG) 和树来允许 DAG 内的设备到达根设备或“簇头”(例如“宿主 (sink)”)。通常,根设备可以将 DAG 的设备与诸如互联网、广域网或其它域之类的更大的架构互连。

[0003] 在某些应用中,例如无线设备实现方式(例如传感器网络)中,DAG 被形成,由于网络的有损特性,这些 DAG 为网络中的大多数设备提供去往根设备的替代下一跳。问题是,去往根设备的任意 DAG 可能无法得到在反方向上的相同的所需要的冗余属性。换言之,即使 DAG 实现了对于去往根(“上行”方向)的尽可能多的设备的替代下一跳的目的,将相同的 DAG 反过来,用于创建从根到任意目的地(“下行”方向)的路由的常见技术也不一定能提供去往目的地的替代下一跳。

### 附图说明

[0004] 通过参考以下结合附图的描述,文中的实施例可以被更好地理解,在附图中,相似的标号表示相同或功能类似的元件,其中:

[0005] 图 1 图示了示例计算机网络;

[0006] 图 2 图示了示例网络设备/节点;

[0007] 图 3 图示了示例消息;

[0008] 图 4A 和 4B 图示了示例不对称有向无环图 (DAG);

[0009] 图 5 图示了示例 DAG/树;

[0010] 图 6 图示了示例消息交换和判定;

[0011] 图 7A 和 7B 图示了示例消息交换和判定;

[0012] 图 8 图示了示例消息交换和判定;

[0013] 图 9 图示了示例消息交换;

[0014] 图 10 图示了示例下行数据路径;

[0015] 图 11 图示了示例性的设备之间的互连;

[0016] 图 12 图示了示例下行数据路径;

[0017] 图 13 图示了示例性的设备之间的互连;

[0018] 图 14 图示了示例下行数据路径;

[0019] 图 15 图示了示例性的设备之间的互连;以及

[0020] 图 16 图示了用于提供用于 DAG 路由的替代下行路径的示例过程。

### 具体实施方式

**[0021] 概览**

[0022] 根据本公开的一个或多个实施例,利用有向无环图(DAG)的计算机网络内的节点“N”选择 DAG 内的父节点“P”,并且在 P 不是 DAG 的根节点时,可以确定祖父节点“GP”作为父节点 P 的父节点。然后,节点 N 也可以选择与 GP 和 N 连接的替代父节点“P'”(如果有的话)。这样,N 随后可以通知 P 和 P' 关于经由 N 可到达的前缀以及关于在 P 不可到达的情况下作为 P 的替代父节点到达经由 N 可到达的前缀的 P' 的信息。此外,根据本公开的一个或多个实施例,P 可以被配置为通知 GP 关于经由 N (P 的子节点)可到达的前缀以及关于在 P 不可到达的情况下作为 P 的替代父节点到达经由 N 可到达的前缀的 P' 的信息,并且 P' 可被配置为存储经由 N 可到达的前缀,而不通知其它节点关于那些前缀的信息,例如为了防止扇出(fan-out)。

**[0023] 描述**

[0024] 计算机网络是地理上的分布式节点的集合,这些节点通过用于在端节点之间传输数据的通信链路和分段被互连,所述端节点例如个人计算机和 workstation 或者诸如传感器等之类的其它设备。很多类型的网络是可用的,包括从局域网(LAN)到广域网(WAN)的各种网络类型。LAN 通常连接位于同一个总的物理位置(例如建筑物或校园)中的专用私有通信链路上的节点。另一方面,WAN 通常连接长距离链路上的地理上分散的节点,所述长距离链路例如公共载波电话线、光路、同步光网络(SONET)、同步数字系列(SDH)链路或电力线通信(PLC)。此外,移动自组织网络(MANET)是一种无线自组织网络,该网络一般被认为是通过无线链路连接的移动路由(和相关联的主机)的自配置网络,这些路由的集合形成任意的拓扑结构。

[0025] 尤其诸如传感器网络之类的智能对象网络是一种特定类型的网络,这种网络由诸如传感器之类的空间分布式自治设备构成,所述自治设备共同检测不同位置处的物理或环境状况,例如温度、压力、振动、声音、辐射、运动、污染等。LLN 中的其它类型的智能对象例如负责开/关引擎或执行任何其它操作的执行器。传感器网络通常是无线网络,但是有线连接也是可用的。即,除了一个或多个传感器以外,传感器网络中的每个传感器设备(节点)通常可以被配备有射频收发器或者其它通信端口、微控制器和诸如电池之类的能量源。一般而言,传感器节点的尺寸和成本限制导致相应的对诸如能量、存储器、计算速度和带宽之类的资源的限制。因此,反应式路由协议可以被用来代替先验式路由协议用于传感器网络,当然这不是必需的。

[0026] 在某些配置中,传感器网络中的传感器将它们的数据发送给一个或多个集中式或分布式数据库管理节点,这些数据库管理节点得到数据以用于一个或多个相关联的应用。作为替代(或者附加),某些传感器网络提供这样的机制,通过该机制感兴趣的用户(例如“宿主”)可以专门请求来自网络中的设备的数据。在“推模式”中,传感器将它们的数据发送给传感器宿主/用户,而不例如以常规间隔/频率或者作为对外部触发的响应进行提示。相反,在“拉模式”中,传感器宿主可以专门请求传感器(例如特定传感器或所有传感器)将它们的当前数据发送(或者进行测量并将测量结果发送)给传感器宿主。(本领域技术人员可以理解每种模式的优缺点,并且这两种模式都适用于这里所描述的技术)。

[0027] 图 1 是示例计算机网络 100 的示意性框图,该网络示例性地包括通过各种通信方法被互连的诸如路由器、传感器、计算机等的节点/设备 200。例如,链路可以是有线链路

或者可以包括无线通信介质,其中某些节点 200 可以例如基于距离、信号强度、当前操作状态、位置等与其它节点 200 进行通信。本领域技术人员可以理解任意数目的节点、设备、链路等可被用于计算机网络中,并且这里所示出的视图是为了简化描述。例如,网络中的某些设备可以比其它设备能力更强,例如具有较大存储器、可持续无电池供电等的那些设备与具有最小存储器、电池电源等的那些设备。如文中所述,设备 200 中的一个或多个可以被认为是“根节点 / 设备”,同时设备中的一个或多个也可以被认为是“目的地节点 / 设备”。

[0028] 数据分组 140 (例如在设备 / 节点之间发送的业务和 / 或消息)可以利用预定的网络通信协议在计算机网络 100 的节点 / 设备之间被交换,所述网络通信协议例如传输控制协议 / 互联网协议(TCP/IP)、用户数据报协议(UDP)、多协议标签交换(MPLS)、各种专有协议等。在该上下文中,协议由定义节点如何彼此交互的一组规则构成。

[0029] 图 2 是可以结合文中所描述的一个或多个实施例被用作例如设备或传感器的示例节点 / 设备 200 的示意性框图。该设备可以包括一个或多个网络接口 210、一个或多个传感器组件 215、处理器 220 (例如,8-64 位微控制器)和通过系统总线 250 互连的存储器 240 以及电源 260 (例如电池、插座等)。网络接口 210 包括用于通过耦接到网络 100 的物理和 / 或无线链路传送数据的机械、电和信号电路。网络接口可以被配置为利用各种不同的通信协议发送和 / 或接收数据,所述通信协议包括 TCP/IP、UDP、无线协议(例如 IEEE Std. 802. 15. 4、WiFi、Bluetooth®)、以太网、电力线通信(PLC)协议等。

[0030] 存储器 240 包括用于存储与这里所描述的实施例相关联的软件程序和数据结构的可通过处理器 220 和网络接口 210 寻址的多个存储位置。处理器 200 可以包括被适配为执行软件程序和操纵数据结构(例如路由或前缀 245)的必要元件或逻辑。操作系统 242 具体通过调用支持在设备上执行的软件过程和 / 或服务的操作来从功能上组织该设备,所述操作系统的部分 通常位于存储器 240 中并且由处理器执行。这些软件过程和 / 或服务可包括路由过程 / 服务 244,该路由过程 / 服务 244 可以包括例示性的有向无环图(DAG)过程 246。本领域技术人员将明白包括各种计算机可读介质的其它处理器和存储器类型也可以被用于存储和执行关于这里所描述的技术的程序指令。

[0031] 路由过程(服务) 244 包含由处理器 220 执行的计算机可执行指令以实现一个或多个路由协议所提供的功能,例如本领域技术人员理解的先验式或反应式路由协议。这些功能可以被配置为管理包含例如被用于做出路由 / 转发决定的数据的路由 / 转发表 245。具体而言,在先验式路由中,在计算到网络中的任意目的地的路由之前,连接性被发现且已知,例如诸如开放式最短路径优先(OSPF)、中间系统到中间系统(ISIS)或最优链路状态(OLSR)。另一方面,反应式路由发现邻居(即,没有关于网络拓扑的先验知识),并且作为对所需要的到目的地的路由的响应,向网络中发送路由请求以确定哪个邻居节点可被用于到达所希望的目的地。示例反应式路由协议可以包括自组织按需平面距离矢量(AODV)、动态源路由(DSR)、动态 MANET 按需路由(DYMO)等。

[0032] 低功率有损网络(LLN)(例如某些传感器网络)可被用在各种应用中,例如用于“智能电网”和“智能城市”。LLN 中的很多挑战已被提出,例如:

[0033] 1) 链路一般是有损的,使得分组送达率可能会因为各种干扰源而有非常大的变化,例如,非常影响位错误率(BER);

[0034] 2) 链路一般是低带宽的,使得控制平面流量通常必须被限制并且与低速率数据流

量相比是可忽略的；

[0035] 3) 有很多使用实例需要指定一组链路和节点度量,其中一些是动态的,从而需要特定的平滑功能以避免路由不稳定性,很大程度上浪费了带宽和能量；

[0036] 4) 限制路由可能被一些应用所需要,例如以建立路由路径避免未被加密的链路、节点的能量变低等；

[0037] 5) 网络的规模可能变得非常大,例如有几千到上百万个节点；以及

[0038] 6) 节点可能会受到低存储空间、降低的处理能力、低功率供应(例如电池)的限制。

[0039] 换言之,LLN 是一类这样的网络,其中路由器及其互连被限制:LLN 路由器的操作通常伴随着例如处理功率、存储器和 / 或能量(电池)的限制,并且路由器的互连的特征例如高损耗率、低数据率和 / 或不稳定性。LLN 包括从几十个到上千甚至百万个 LLN 路由器,并且支持点到点的流量(在 LLN 内部的设备之间)、点到多点的流量(从中心控制点到 LLN 内部的设备子集)以及多点到一点的流量(从 LLN 内部的设备到中心控制点)。

[0040] 在 Winter, et al. (2010 年 3 月 8 日版本) 所著的名为“RPL:IPv6 Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks”<draft-ietf-roll-rpl-07> 的互联网工程任务任务组(IETF) 互联网草案中所规范的示例协议提供了一种机制,该机制支持从 LLN 内部的设备到中心控制点(例如一般是 LLN 边界路由器(LBR)或“根节点 / 设备”)的多点到一点(MP2P) 流量,以及从中心控制点到 LLN 内部的设备的点到多点(P2MP) 流量(以及点到点或者“P2P”流量)。RPL (发音为“ripple”) 一般可以被描述为距离矢量路由协议,该协议建立有向无环图(DAG),该有向无环图除了定义一组特征以限制控制流量、支持修复等以外还用于路由流量 / 分组 140。

[0041] DAG 是一种具有如下属性的有向图,该属性即所有边都按照没有环(循环)存在的方式被安排。所有边被包含在面向并结束于一个或多个根节点(例如“簇头”或“宿主”)的路径中,通常用于利用诸如互联网、广域网或其它域之类的较大架构互连 DAG 的设备。此外,面向目的地 DAG (DODAG) 是一种以单一目的地为根的 DAG,即以没有向外的边的单一 DAG 根为根。DAG 内的特定节点的“父节点”是该特定节点在去往 DAG 根的路径上的紧接着的后继节点,使得父节点具有比该特定节点本身更低的“级别”,其中节点的级别标识节点相对于 DAG 根的位置(例如,节点距离根越远,该节点的级别越高)。此外,DAG 内的节点的兄弟节点被定义为位于 DAG 内的相同级别的任意邻居节点。注意,兄弟节点不需要共享共同的父节点,并且兄弟节点之间的路由一般不是 DAG 的一部分,因为不存在转发进程(兄弟节点的级别是相同的)。还要注意,树是一种 DAG,其中 DAG 中的每个设备 / 节点有一个父节点或者如这里所使用的优选父节点。

[0042] DAG 一般可以基于目标函数(OF) 被建立,所述目标函数定义一组路由度量、最优化目标、限制条件和 DAG 中用到的相关函数。即,目标函数的角色是指定一个或多个度量以最优化 DAG 以及这些度量怎样被用来计算最佳(例如最短)路径。此外,OF 可以包括可选的一组限制条件以计算受限制的路径,例如其中如果链路或节点不满足所要求的限制条件,则在计算最佳路径时,该链路或节点从候选列表中被“剔除”。此外,OF 可以包括定义主机或一组主机的“目标地”,例如用作数据收集点的主机或者提供到外部架构的连接网关,其中 DAG 的主要目标在于使 DAG 内的设备能够到达目标地。在节点不能符合目标函数的情况下,该节点可以被配置为作为叶子节点加入 DAG。



[0043] 作为说明,被用于基于 OF 选择路径(例如优选父节点)的示例度量可以包括开销、延迟、时延、带宽、估计传输次数(ETX)等,而可以对路由选择设置的示例限制条件可以包括各种可靠性阈值、对电池操作的约束、多路径多样性、负载平衡要求、带宽要求、传输类型(例如有线、无线等)以及被选择的父节点的数目(例如,单一父节点的树或多个父节点的 DAG)。注意,针对路由度量可以怎样被得到的示例可以在 Vasseur, et al. (2009 年 12 月 3 日版本)所著名为“Routing Metrics user for Path Calculation in Low Power and Lossy Networks”<draft-ietf-roll-routing-metrics-04>的 IETF 互联网草案中找到。此外,示例 OF(例如默认 OF)可以在 Thubert(2010 年 2 月 18 日版本)所著名为“RPL Objective Function 0”<draft-ietf-roll-of0-01>的 IETF 互联网草案中找到。

[0044] 构建 DAG 可以利用发现机制来构建对网络的逻辑表示,并且利用路由传播来建立网络内的状态以使得路由器知道如何将分组转发到它们的最终目的地。注意,“路由器”指可以转发和生成流量的设备,而“主机”指可以生成但不能转发流量的设备。此外,“叶子节点”可以被用于总地描述非路由器,该非路由器只是通过一个或多个路由器被连接到 DAG 而自身不能将在 DAG 上接收到的流量转发到 DAG 上的另一个路由器。控制消息可以在网络内的设备之间被传输以用于构建 DAG 时的发现和路由传播。

[0045] 根据示例性 RPL 协议,DODAG 信息对象(DIO)是一种 DAG 发现请求消息,该消息携带允许节点发现 RPL 实例、学习其配置参数、选择 DODAG 父节点集并维护向上路由拓扑结构的信息。此外,目的地广告对象(DAO)是一种 DAG 发现回复消息,该消息将目的地信息沿 DODAG 向上传送以使得 DODAG 的根(和其它中间节点)可以提供向下的路由。DAO 消息包括标识目的地的前缀信息、记录支持源路由的路由的功能和确定特定广告的新鲜性的信息。注意,“向上”或“上行”路径是沿从叶子节点到 DAG 根的方向传导的路由,例如顺着 DAG 内的边的方向。反过来,“向下”或“下行”路径是沿从 DAG 根到叶子节点的方向传导的路由,例如逆着 DAG 内的边的方向。

[0046] 一般来说,DAG 发现请求(例如 DIO)消息从 DAG 的根设备被向下向叶子节点发送,通知每个相继的接收设备如何到达根设备(即,从请求被接收到地方开始通常是根的方向)。因此,DAG 沿着面向根设备的向上的方向被创建。然后,DAG 发现回复(例如 DAO)可以从叶子节点被返回到根节点,通知每个相继的接收设备沿另一方向如何到达针对向下路由的叶子。能够保持路由状态的节点可以在发送 DAO 消息之前对来自它们所接收的 DAO 消息的路由进行合计。然而,不能保持路由状态的节点可以将下一跳地址添加到反向路由记录堆栈(例如,RPL DAO 消息内所包含的“反向路由堆栈”)。然后,反向路由记录堆栈之后可以被用于生成在能够存储向下路由状态的 DAG 的区域上的分段源路由。

[0047] 图 3 图示了可以被用于构建 DAG 时的发现和路由传播的示例性简化控制消息格式 300,例如作为 DIO 或 DAO。消息 300 例如包括在标识消息类型(例如 RPL 控制消息)的一个或多个字段 312 内的头部 310,以及指示特定类型的消息的特定代码,例如 DIO 或 DAO(或者 DAG 信息征集)。消息的消息体/有效载荷 320 内可以是用于中继相关信息的多个字段。具体来说,这些字段可以包括各种标志/位 321、序列号 322、级别值 323、实例 ID 324 和 DAG ID 325 和其它字段,每个字段的更多细节可以被本领域技术人员理解。此外,对于 DAO 消息,用于目的地前缀 326 和反向路由堆栈 327 的附加字段也可以被包括。对于 DIO 或 DAO,一个或多个附加的子选项字段 328 可被用于提供消息 300 内的附加或定制信息。例如,目

标代码点 (OCP) 子选项字段可以被用在 DIO 内以携带指定要被用于构建相关联的 DAG 的特定目标函数 (OF) 的代码。

[0048] 如上所述, 诸如无线设备实现方式 (例如传感器网络) 之类的特定应用形成 DAG, 由于网络的有损特性, 这些 DAG 为网络中的大多数设备提供去往根设备的替代下一跳。问题是, 去往根设备的任意 DAG 可能无法得到在反方向上的相同的所需要的冗余属性。例如, 如上所述, DAO 消息可被用于建立在向下的方向上沿反向 DAG 的路由, 但是按照这种方式, 不能保证在向上的方向上的冗余将导致相同的向下的冗余。而作为 DAG 不对称性的后果, 某些节点可能只有单一的下一跳, 而其它节点可能有很多个下一跳, 这是一种对有价值资源的浪费。图 4A 图示了被创建以提供冗余向上路径的沿从目的地到根的向上方向的示例 DAG 400。如图所示, 除节点“A”以外的所有节点有去往根节点的两个后继节点。作为选择, 图 4B 图示了反向 (沿向下方向) 的相同的示例 DAG 400。如图所示, 节点 B、C、E、F 和 G 只有去往特定目标节点的一个后继节点。

#### [0049] 针对 DAG 的替代下行路径

[0050] 根据本公开的一个或多个实施例, DAG 内的节点可以选择父节点, 并且基于相应的祖父节点 (父节点的父节点), 也可以选择具有到祖父节点和节点本身的连接的替代父节点。然后, 该节点可以通知其父节点和替代父节点关于在向下方向上可以经由节点到达的前缀的信息, 使得父节点继续将所述信息与在父节点变为不可到达的节点的情况下使用替代父节点的指示一起转发给祖父节点。为了防止所述信息的扇出, 替代父节点可以简单地存储可达性信息, 以供节点的祖父节点转发所建立的替代下行路径上的流量时使用。作为说明, 这里更详细描述的技术可以用例如根据 DAG 过程 246 的硬件、软件和 / 或固件来执行, 所述硬件、软件和 / 或固件可以包含由处理器 220 执行以实现与例如结合路由过程 244 的这里所描述的新技术相关的功能的计算机可执行指令。

[0051] 注意, 树或 DAG 可以被表示为由一系列链路和下一跳构成的路径的集合。如上所述, 从 DAG 的根到 DAG 中的目的地的向下路径基本上是从目的地到根节点建立的向上路径的反转。根据这里的技术, 为向下路径上的每一跳建立替代或绕行路径, 以防备毒性链路或被断开的下一跳。递归性地, 路径可以被看作被附接的子节点 (“C”) 和父节点 (“P”) 的链表, 并且如这里所使用的, 父节点的父节点被称为祖父节点 (“GP”), 如图 5 中所示。注意如这里所使用的, C、P 和 GP 被用于描述从节点之间的角度来看针对这里的技术的某些角色, 并且特定节点 “N” 表示从其自身角度来看的节点, 因而节点 N 根据其在这里所描述的技术中的当前角色可以作为 C、P、GP 等。

[0052] 在操作上, 根据这里的一个或多个实施例, 任一节点 N 可以通告 (例如广播) 其邻居列表到 DAG 中, 即那些对于 N 是可见 / 可到达的邻居节点。所述通告可以是简单的 Hello 消息或者其它已知的分发协议, 并且可以周期性地或者响应于 DAG 的创建或其它触发被发送。例如, 如图 5 中所示, 节点 P 可以将其邻居宣告为 GP、P’、C、C1 等。所述宣告还可以包括例如指示在一个或两个方向上的传输质量的一个或多个度量, 用于如上所述针对 DAG 的被选择优选路径中。

[0053] 此外, 树或 DAG 可以沿向上的方向被构建, 其中每个子节点 C 选择例如沿父到子方向 (基于目标函数) 最优化度量的 DAG 内的优选父节点 P。根据这里的技术并且如图 6 中所示, 父节点 (例如在构建 DAG 时的 DIO 消息内) 向 DAG 中宣告它们自己的父节点, 使得每个子

节点可以确定其祖父节点 GP。基于所得到的祖父节点 GP,父节点 P 的子节点 C 可以选择具有到 GP 和 C 的连接替代父节点 P'。注意 P' 可以基于从 GP 到 P' 和从 P' 到 C 的优质度量(例如优质信号)被选择。注意,作为对携带邻居列表的 Hello 消息的替代,该信息可以是按需被请求的,使得子设备 C 可以其需要到达 GP 的消息多播到 DAG 中,请求一组候选者做出响应,C 可以从中选择 GP、P 和 P'。

[0054] 如图 7A 中所示,C 随后可以发送诸如 RPL DAO 300 之类的路由通告到 P,指示 P' 是针对路由通告内的前缀列表的 P 的替代节点。就是说,C 通知 P 关于经由 C 可到达的前缀(路由)以及关于在 P 变为不可用的情况下作为 P 的替代父节点到达经由 N 可到达的前缀的 P' 的信息。C 还将相同的通告发送给 P',还是指示 P' 是针对消息中所包含的前缀的替代父节点。注意,被发送给 P 和 P' 的消息可以包括由 P 和 P' 单独在相应的网络接口上接收的单一传输,例如无线 / 射频传输。

[0055] 因为 P 是优选父节点,所以如图 7B 中所示,节点 P 可以将从 C 可到达的前缀转发给其自己的父节点(GP),并且递归地针对应当到达根节点的那些前缀进行路由。然而,因为 P' 是替代父节点,所以 P' 被配置为防止将所述路由信息组发送给其自己的优选父节点,避免传播出 DAO (扇出)。相反,P' 简单地存储经由 C 可到达的前缀,而不通知其它节点,并且保存信息以快速地对 P 的不可用性做出响应。因此,对于每个经由 C 可到达的目的地,GP 有经由 P 的主要下行路径 / 路由和经由 P' 的备用(替代)路径 / 路由,并且相应地,P 和 P' 都有经由 C 到目的地的下行路径以供路由所接收到的流量时使用。

[0056] 以上示例是被稍微简化了的,其中子设备 C 是父设备 P 的唯一孩子。但是,如图 8 中所示,常常会有父设备有多个子设备的情况。假设对于所有的子设备只有一个替代父设备 P',则父设备 P 将向 GP (和 GP') 发送被整编的全部子设备可到达的前缀列表,并且在 P 变为不可用的情况下 P' 是所有子设备的替代父设备。但是,如图 8 中所示,可能发生更复杂的情况,其中 P 的两个或多个子设备 C1 和 C2 可能分别选择它们自己的相应的替代父设备 P1' 和 P2'。当以这种方式从多个子节点接收到关于前缀的信息时,父节点 P 可以通知 GP (和 GP') 关于每一组前缀以及针对每一组前缀单独的相应替代父节点(例如 P1' 和 P2') 的信息。

[0057] 该逻辑从作为 C 的目的地开始,并且继续向根设备延伸,直到根设备是父节点为止(即,直到确定没有祖父节点为止)。图 9 图示了从目的地向根设备和得到的父节点 / 替代选择的示例回复消息(例如 DAO)传播,显示消息 910 被发送给父节点,并且消息 920 被发送给替代父节点。注意,并非所有跳都可以有替代父节点 P' 或替代祖父 GP',而是那些具有该选项的跳被相应地配置有替代节点。还要注意,虽然从孩子 C 到祖父 GP 再到根的相继的设备被示出,但是 DAG 的长度实质上是无限的,其中孩子可以作为其它设备(例如“孙子, GC”)的父亲。就是说,除根以外的所有设备都是子设备,那些有孩子的设备也是父设备,并且那些有孙子的设备也是祖父设备,等等。因而,任意节点“N”都可以是子节点、从子节点接收信息的父节点、子节点的替代父节点、孙节点的祖父节点或替代祖父节点等等。

[0058] 图 10 图示了按如上所述的方式被构建的从根设备到目的子节点 C 的示例向下数据路径。例如,优选路径 1010 可以在沿路径到达优选设备没有问题时被使用。然而在 DAG 的各个点处,相应地,替代路径 1020 可被用于遍历问题区域。

[0059] 根据这里的一个或多个实施例,P 和 P' 设备还可以建立经由彼此的兄弟路由,如

图 11 中所示。例如,为了鼓励 P 和 P' 之间的兄弟连接,子节点 C 最初可以基于其到 P 的连接选择 P', 作为附加奖励。兄弟路由 1130 通常在设备(假设有可接受的度量)之间的两个方向上被形成,使得其可以被双向使用来向目的地发送流量,而不需要循环回到兄弟链路上。兄弟连接的每个设备可以被配置为优选替代路径,除非链路故障,在链路故障时兄弟路由可被用于返回到优选父节点(例如其中初始的重新路由是基于故障的 GP 到 P 的链路而不是 P 的故障)。显示设备(父设备和祖父设备)之间的兄弟路由的到 C 的数据路径在图 12 中被示出。

[0060] 注意,父节点 P 还可以向 GP' (针对 P 的 GP 的替代父节点) 指示 P' 是针对经由 C 可到达的前缀的 P 的替代节点。如果 GP' 可以到达例如具有适当的度量的 P', 则 GP' 也可以设置针对经由 C 可到达的所有前缀的替代的经由 P' 的路由,被称为所建立的二级路由 1340, 如图 13 中所示。包括优选路径 1010、替代路径 1020、兄弟路径 1130 和二级路径 1340 的从根到 C 的数据路径在图 14 中被示出。因此,这些不同路径的递归结果可以作为彼此很接近的两条“线路”继续沿着 DAG 的长度延伸,如图 15 中所示,无论何时遇到了问题都可以在这两条线路之间跳转(但是在可能的情况下优先选择优选线路)。注意,通过限制来自替代父节点和祖父节点的信息的分发,的该信息的扇出(通常会造造成超过第一层保护的过度保护)被避免。

[0061] 图 16 图示了根据这里所描述的一个或多个实施例的用于提供用于 DAG 路由的替代下行路径的示例性简化过程。该过程 1600 开始于步骤 1605, 并且继续进行到步骤 1610, 其中网络 100 中的每个设备 200 可以向 / 从每个其它可到达(可见)邻居节点广告和 / 或接收可见邻居和度量的列表。然后,每个具体设备或节点(N)可以在步骤 1615 中选择父节点(P)以构建 DAG (例如树), 并且可以在步骤 1620 中分享(宣告 / 接收)其父节点。假设在步骤 1625 中父节点不是 DAG/ 树的根, 则在步骤 1630 中, 每个节点 N 可以确定作为其父节点的父节点的祖父节点(GP)。

[0062] 如上所述,在步骤 1635 中,节点 N 可以选择具有到 GP 和 N 的连接替代父节点(P')。相应地,在步骤 1640 中,节点 N 可以(例如在 DAO 消息 300 中)通知 P 和 P' 关于经由 N 可到达的前缀以及 P' 是到达 N 的前缀的 P 的替代节点。父节点 P 随后可以在步骤 1645 中通知其 GP 关于经由 N 可到达的前缀,同时还通知 GP 关于在 P 变为不可到达 GP 的情况下作为 P 的替代父节点到达经由 N 可到达的前缀的 P'。相反,在步骤 1650 中,P' 存储经由 N 可到达的前缀,而不通知其它节点,例如以防止 DAO 扇出。注意作为选择,如上所述,P 和 P' 也可以在步骤 1655 中建立兄弟连接。在步骤 1660 中,GP 因而可以存储利用具有通过 P' 的替代路径的通过 P 的路径经由 N 可到达的前缀。

[0063] 从子节点 N 的角度示出的过程 1600 继续顺序地进行到根节点,以传播替代下行路径,例如其中每个父节点 P 也作为子节点 N, 每个祖父节点 GP 作为父节点 P 的父节点等等,随着 DAG/ 树的路由差异越来越近地收敛于根节点,适当地巩固路由 / 前缀。对于特定的设备 N, 该过程 1600 结束于步骤 1665, 并且因此得到的路径和替代路径可被用于路由流量。

[0064] 这里所描述的新技术提供了用于计算机网络中的 DAG 路由的替代下行路径。具体而言,这些新技术允许子节点(“N”)选择与父节点的父节点(子节点的祖父节点)通信的替代父节点。就是说,以上技术允许子设备在中间的优选父设备变得不可到达的情况下为沿祖父节点到子节点方向被转发的流量选择沿子节点到祖父节点方向的替代父设备,从而允

许祖父设备快速地绕过断开的链路和节点进行路由以到达子设备(其孙设备)。此外,以上技术避免了通常出现在反向 DAG 计算中的扇出效应,例如针对 RPL DAO 消息的扇出效应。

[0065] 虽然已经示出和描述了提供用于计算机网络中的 DAG 路由的替代下行路径的说明性实施例,但是应当理解在这里的实施例的精神和范围内可以做出各种其它调整和修改。例如,这里所描述的实施例主要是与利用根据 RPL 的 DAG 路由相关的。然而,更广义上的实施例不局限于此,并且实际上可以结合任意 DAG 或树构建机制被使用,所述 DAG 或树构建机制例如最短路径优先(SPF)实现方式(例如开放式最短路径优先或中间系统到中间系统路由协议,相应地为“OSPF”和“ISIS”)。

[0066] 以上描述是针对特定实施例进行的。然而应当明白在实现所描述的实施例的一些或全部优点的情况下可以对这些实施例进行其它改变和修改。例如,很明显这里所描述的组件和 / 或元件可以被实现为存储在有形计算机可读介质(例如磁盘 /CD 等)上的软件,所述有形计算机可读介质具有在计算机、硬件、固件或其组合上执行的程序指令。相应地,该描述被认为只是示例性的,而不是为了限制这里的实施例的范围。因此,所附权利要求书的目的是涵盖在这里的实施例的真实精神和范围内的所有这些改变和修改。

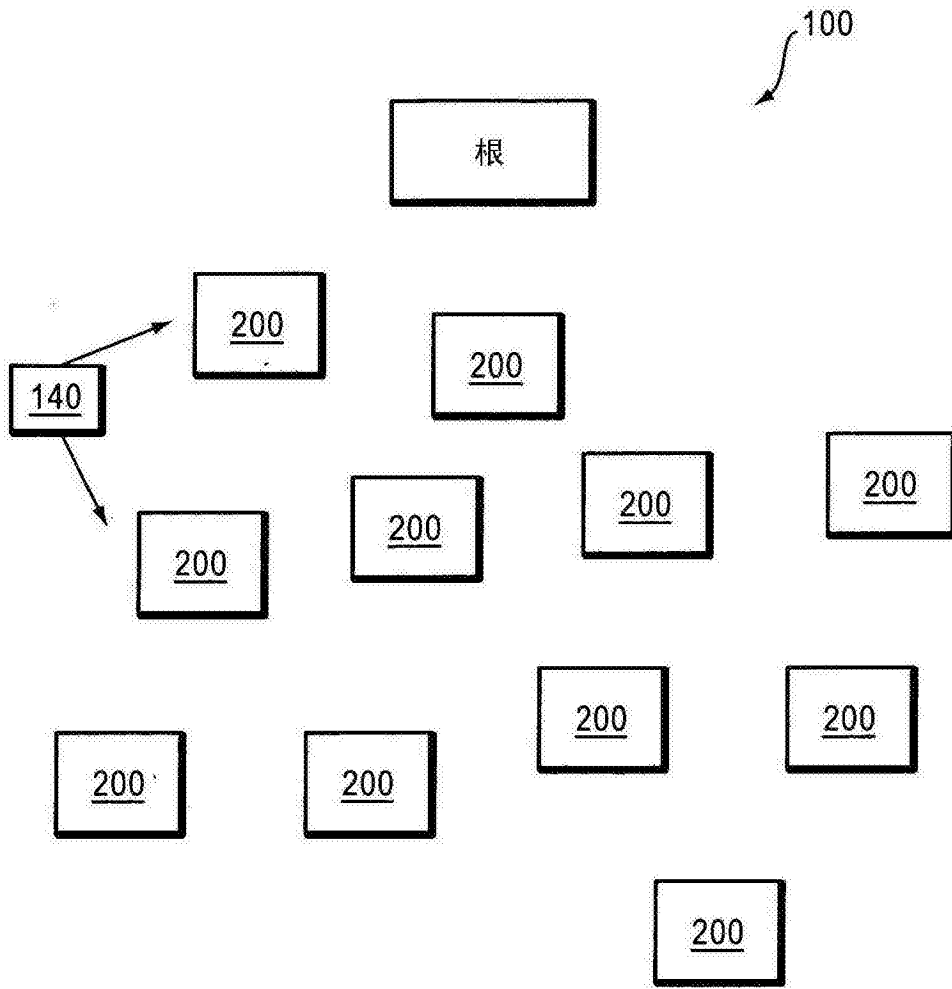


图 1

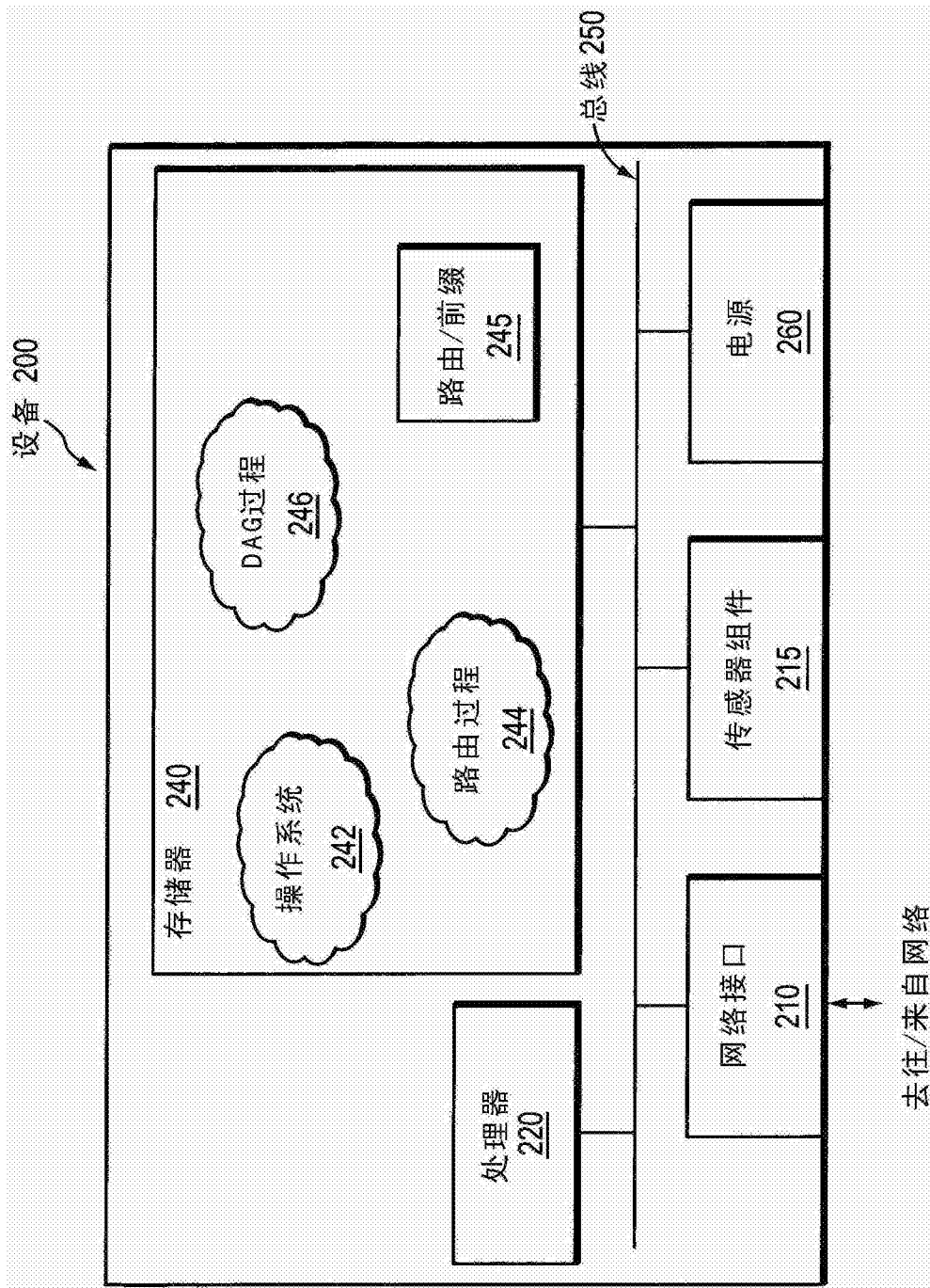


图 2

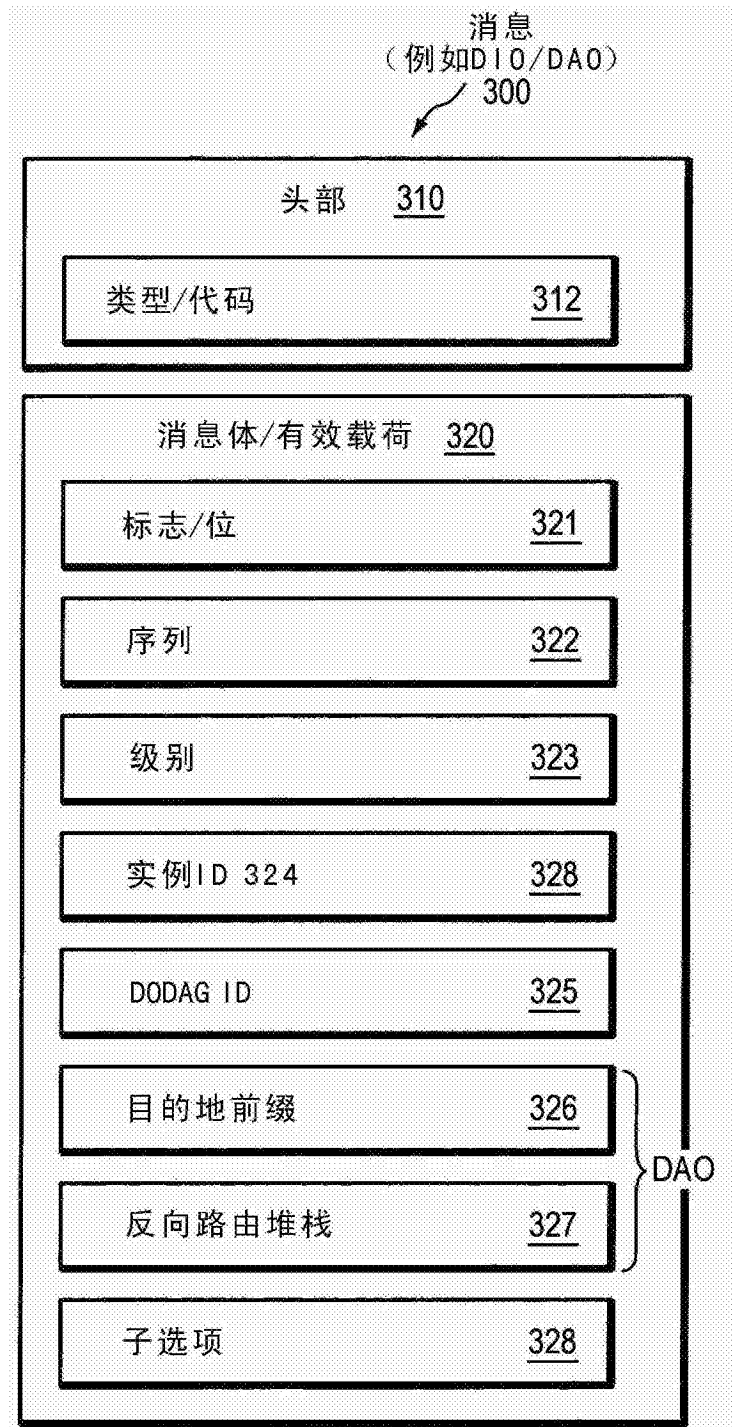


图 3



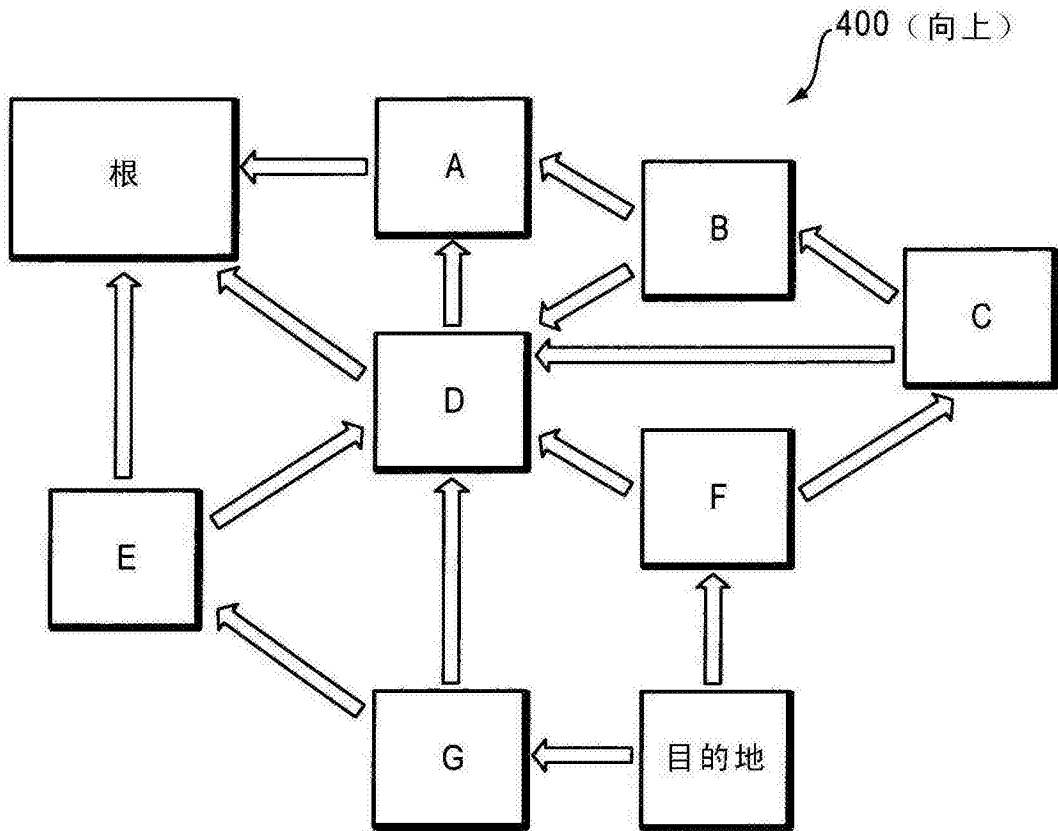


图 4A

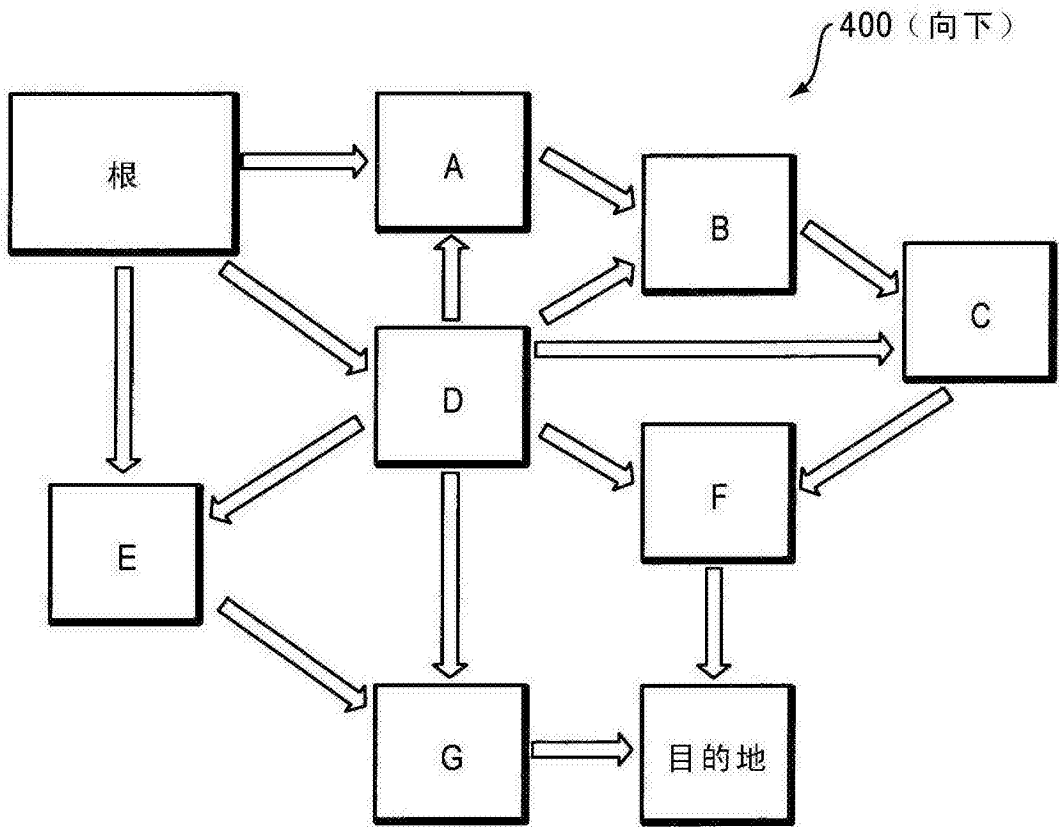


图 4B

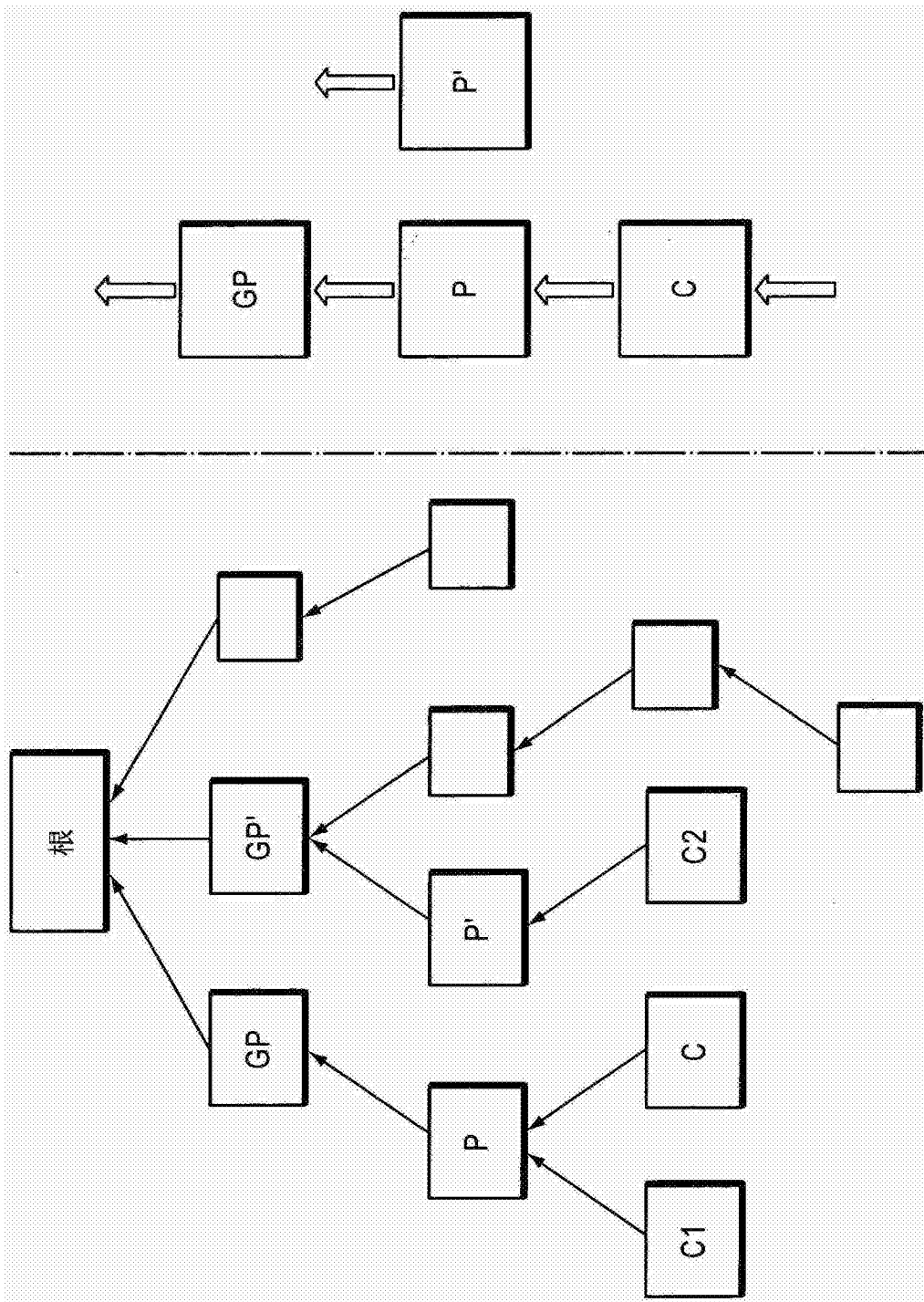


图 5

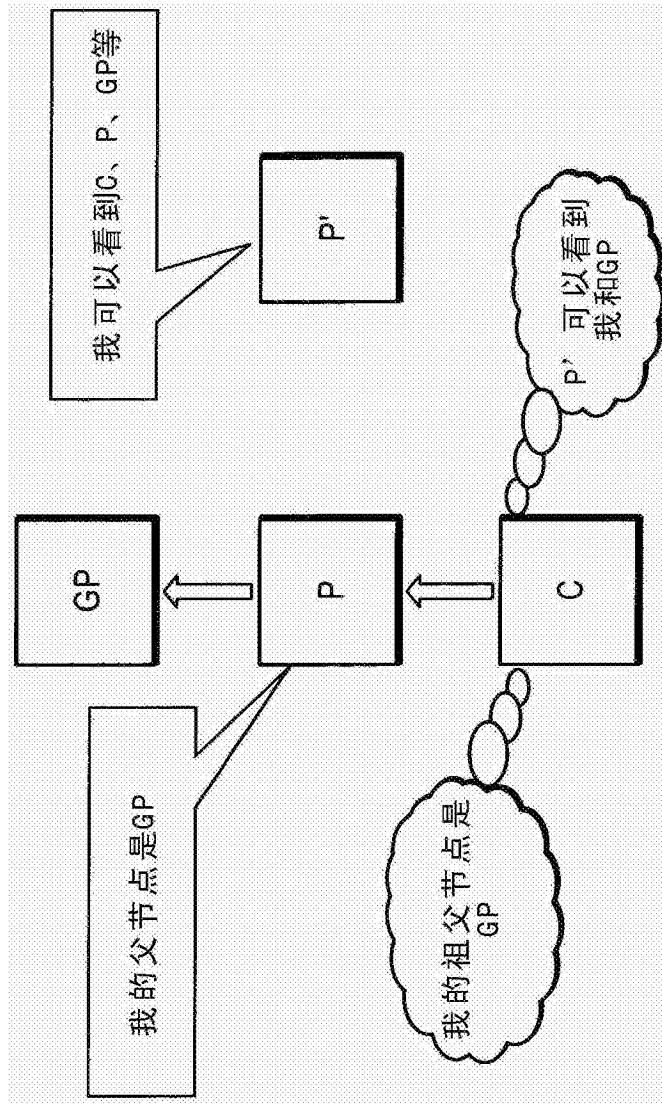


图 6

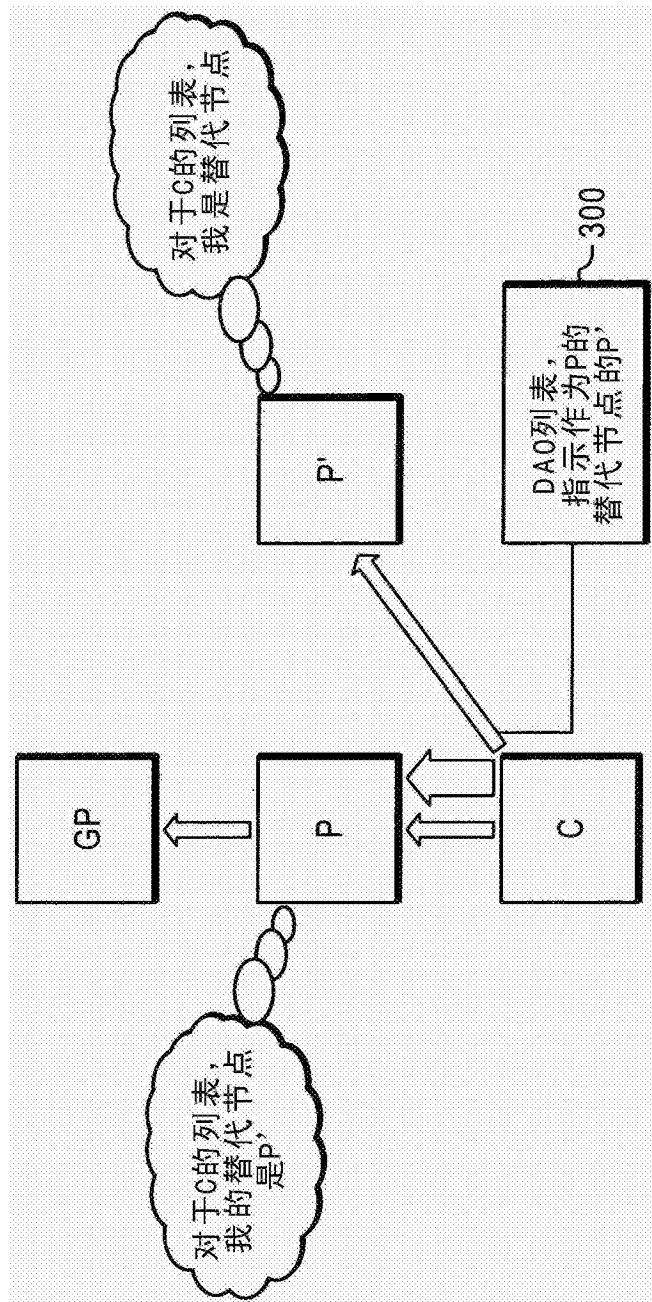


图 7A

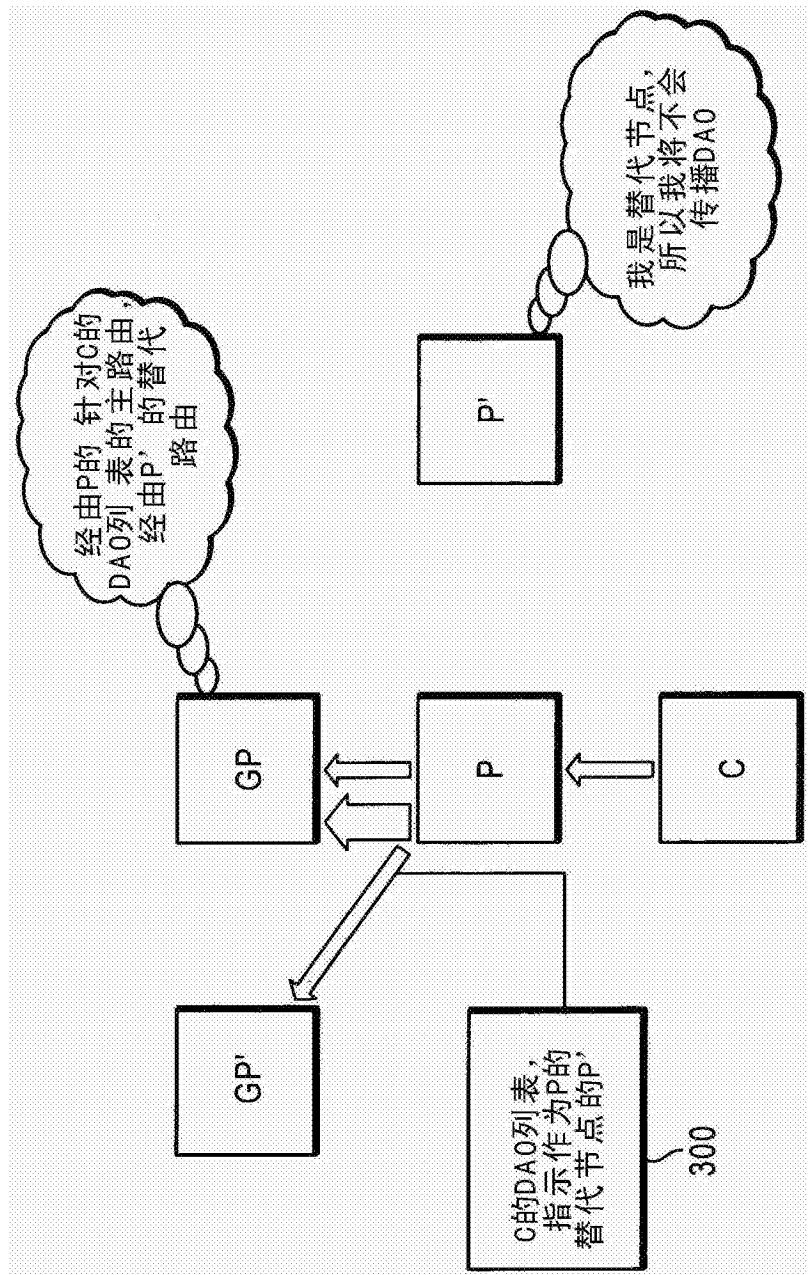


图 7B

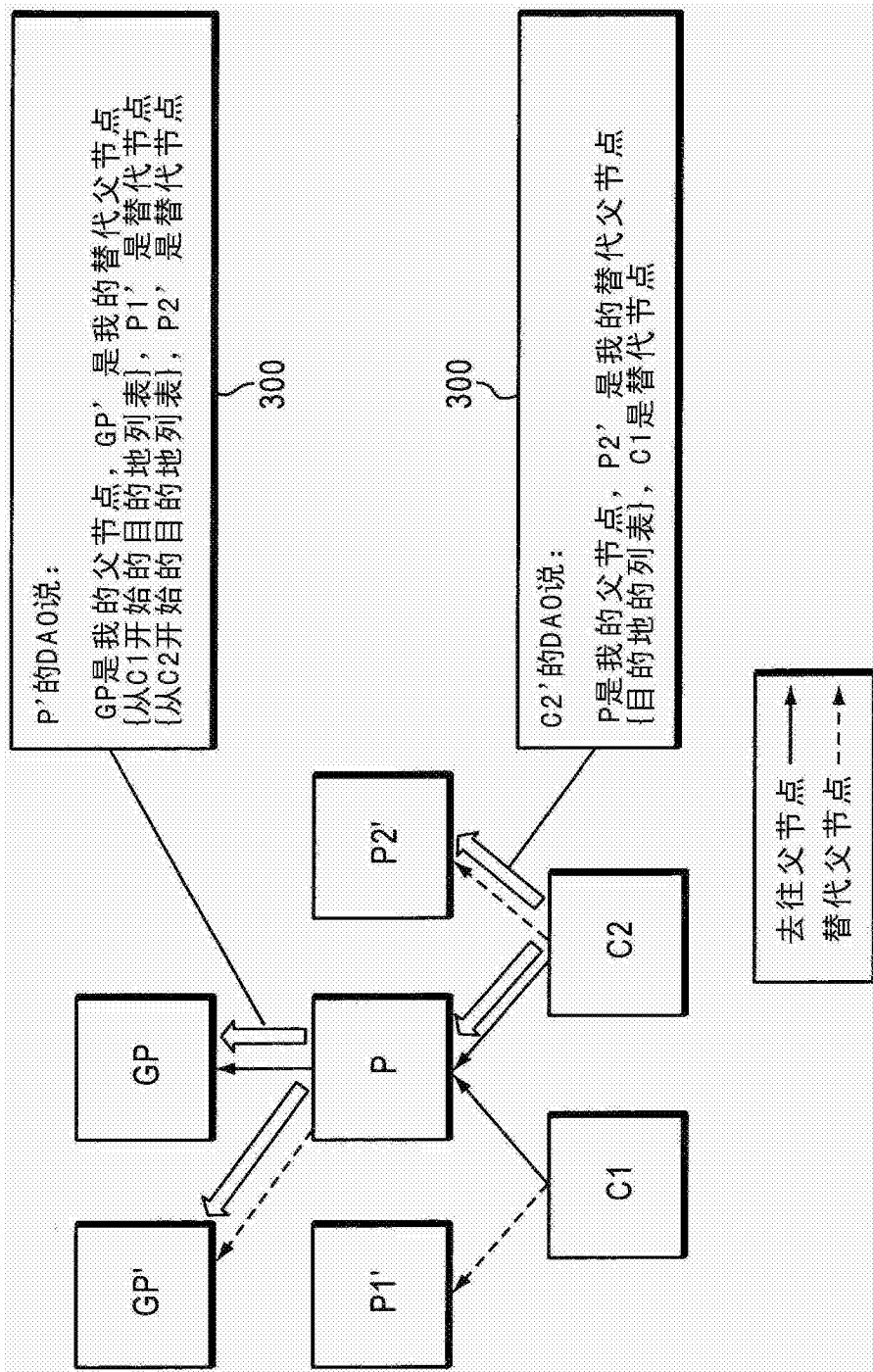


图 8

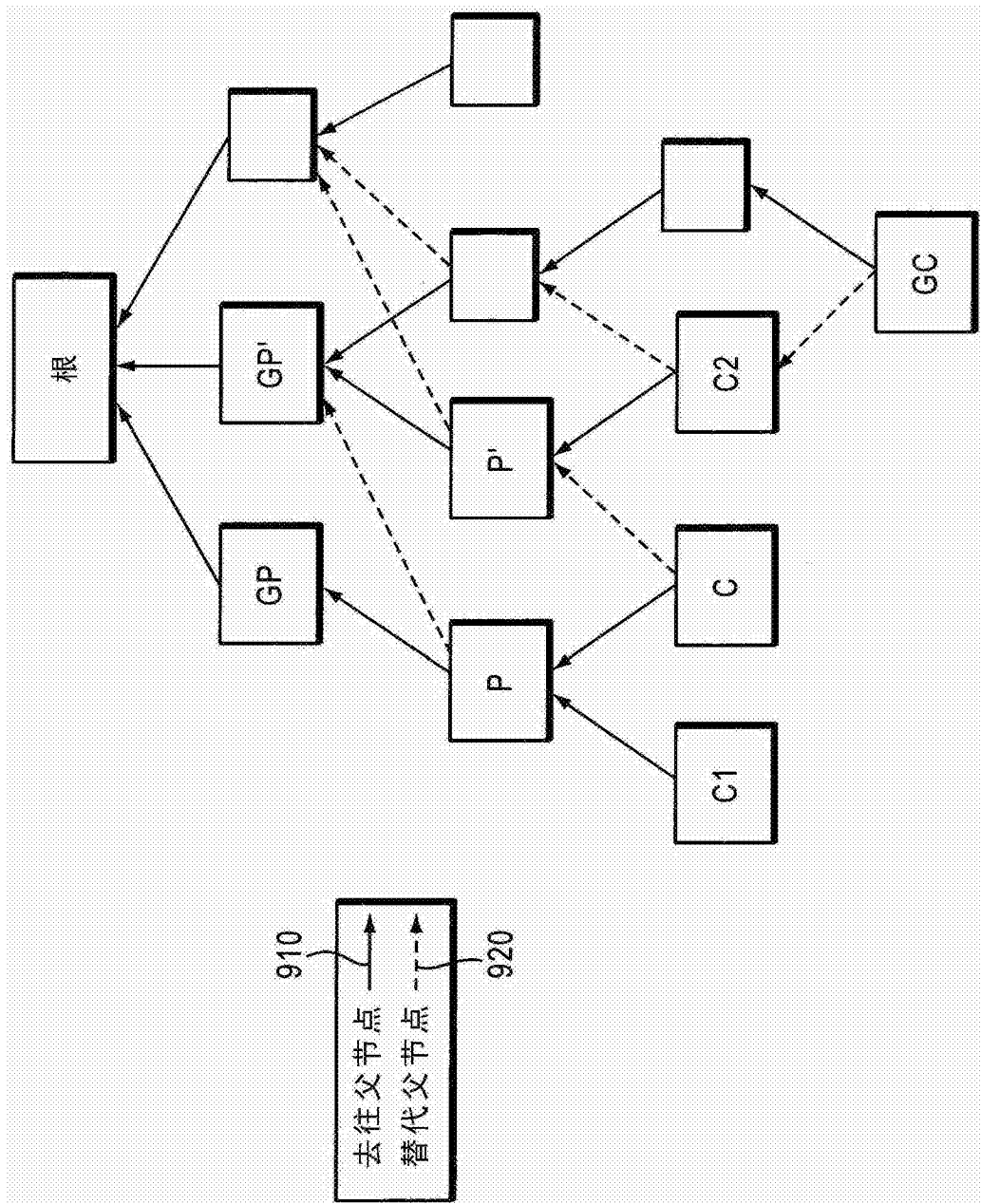


图 9



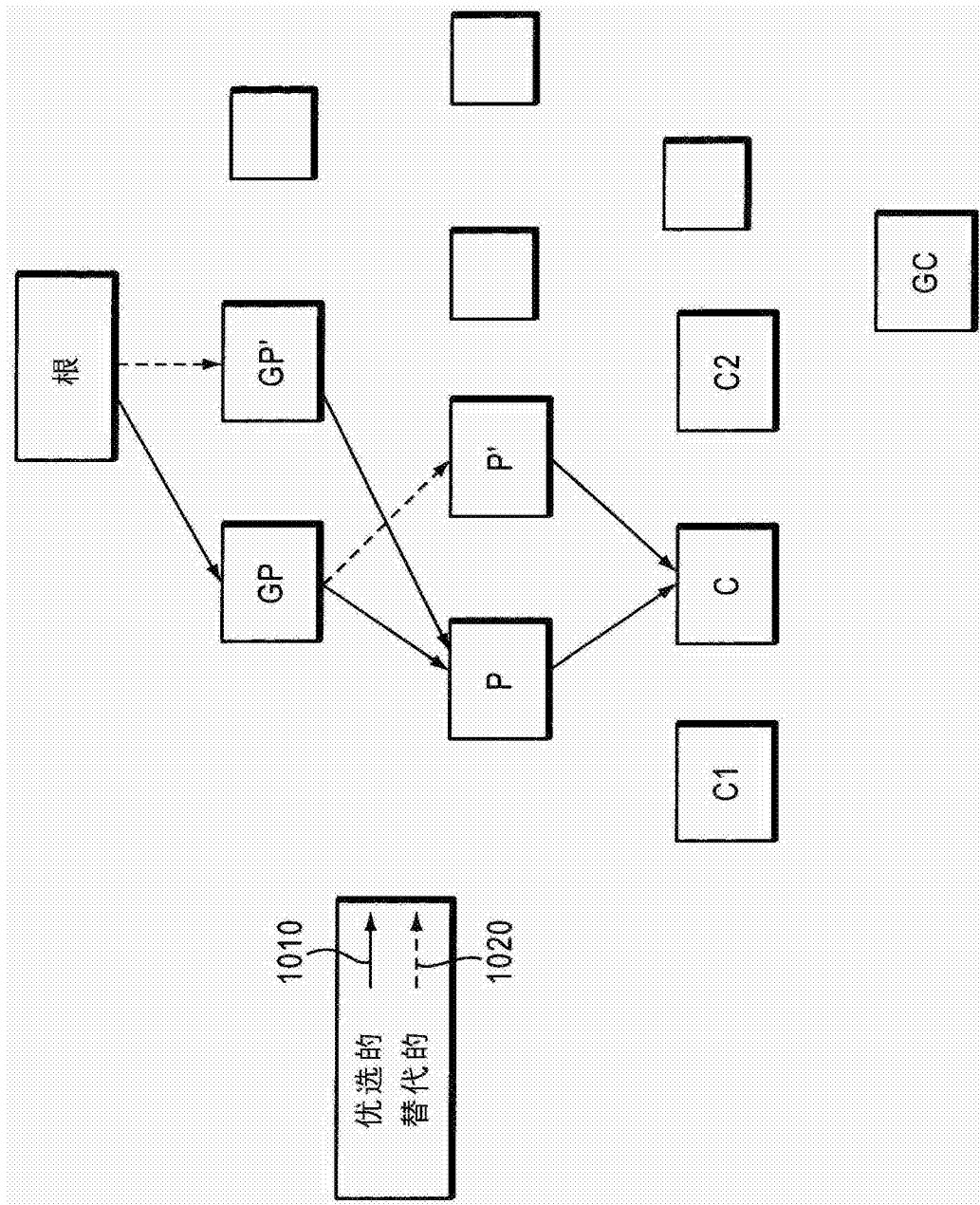


图 10

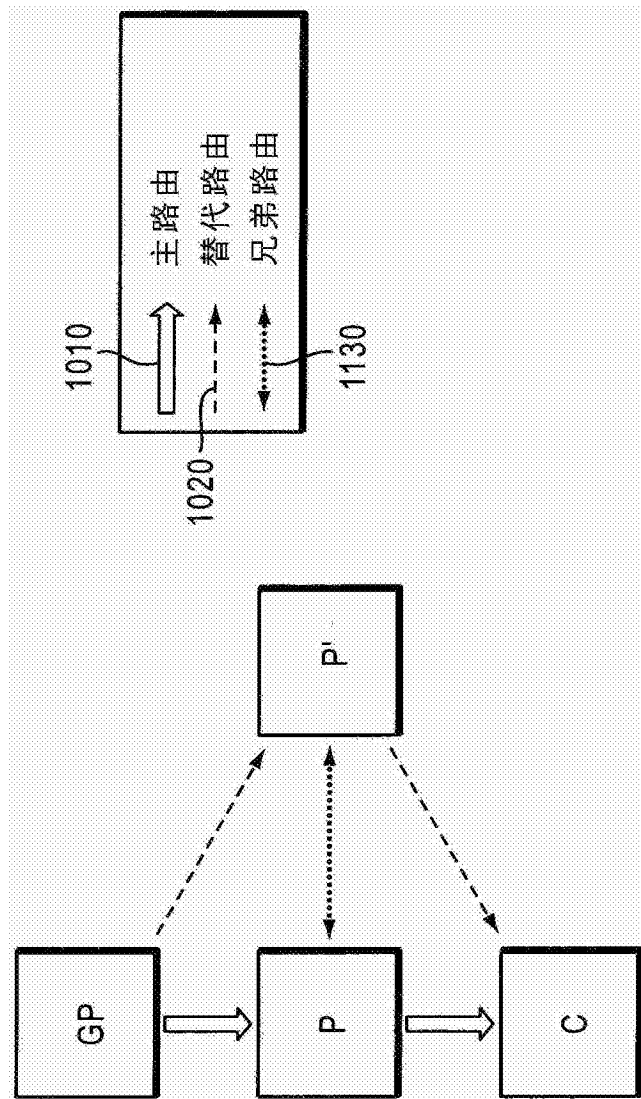


图 11

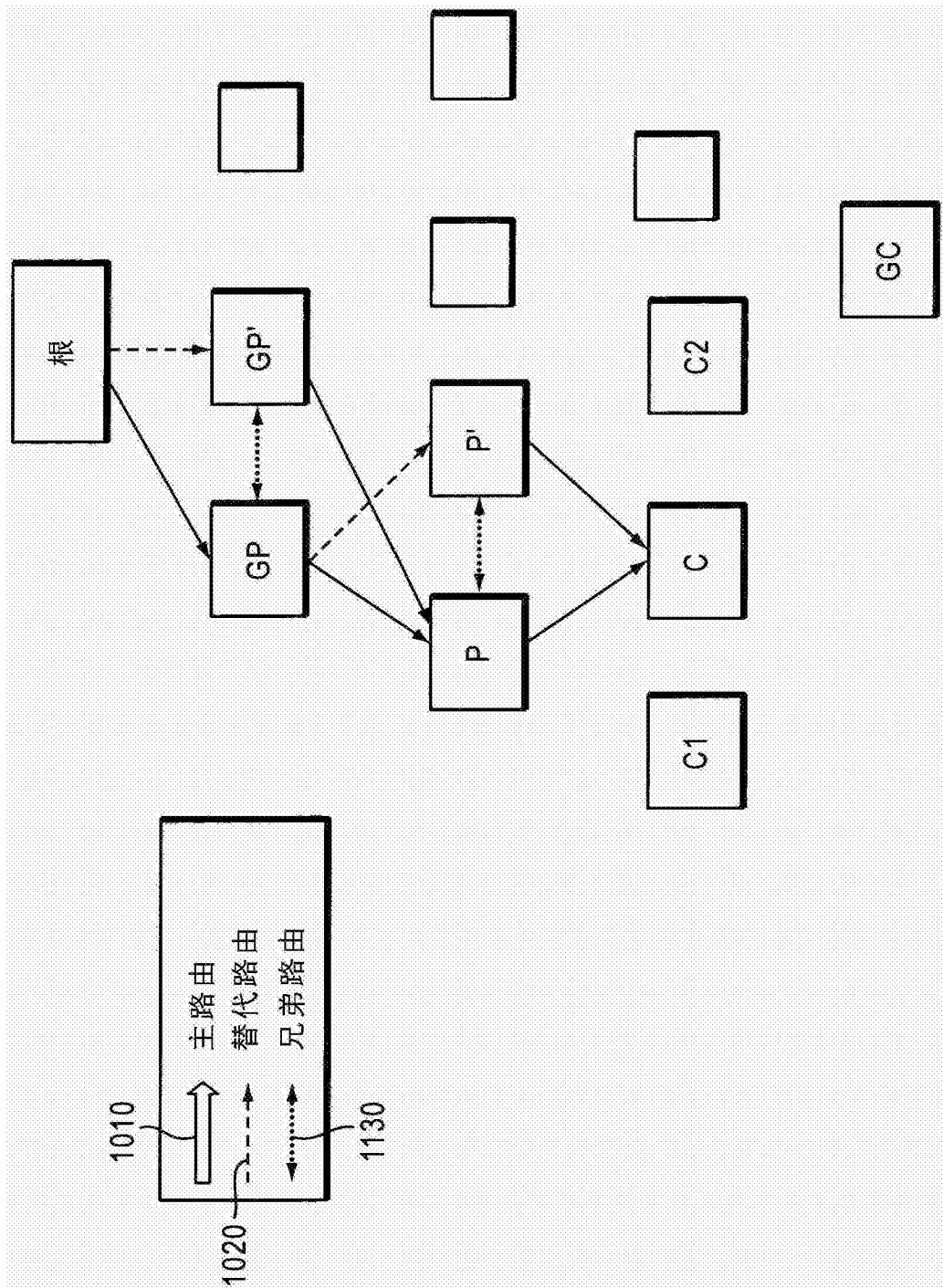


图 12

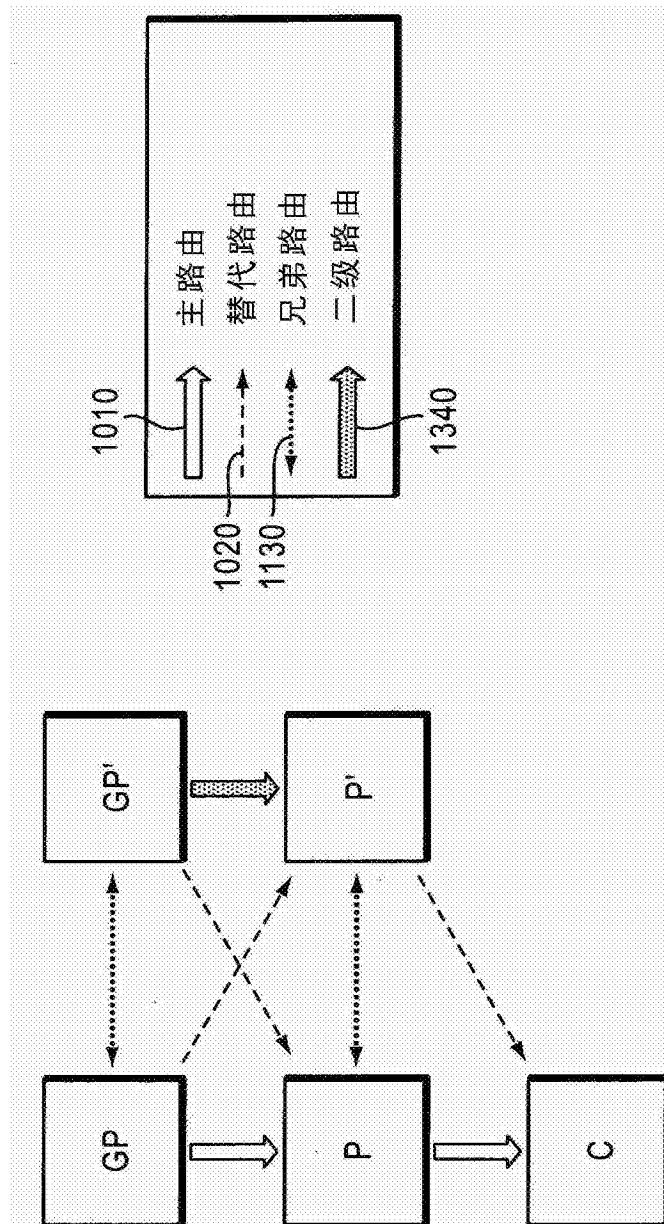


图 13

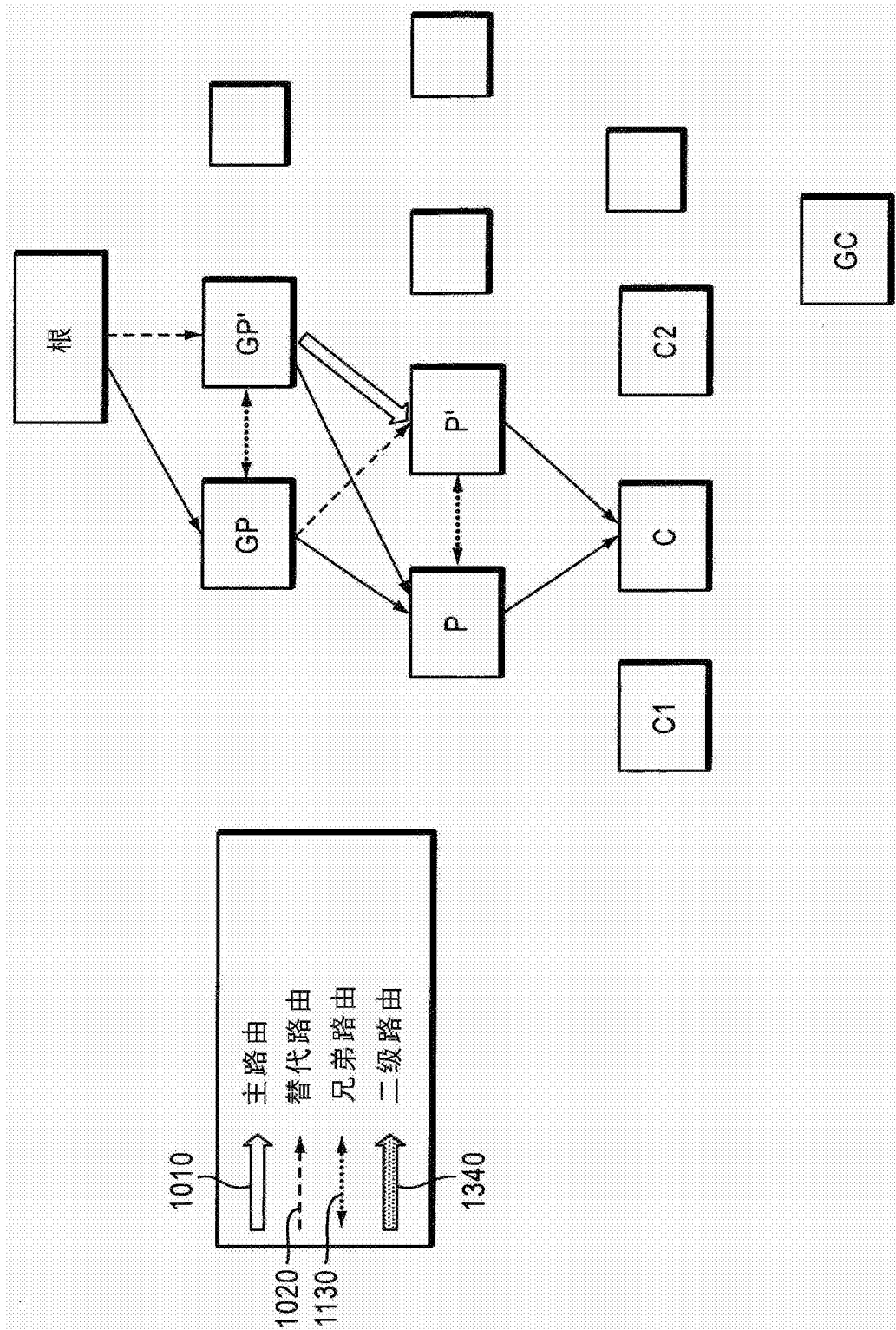


图 14

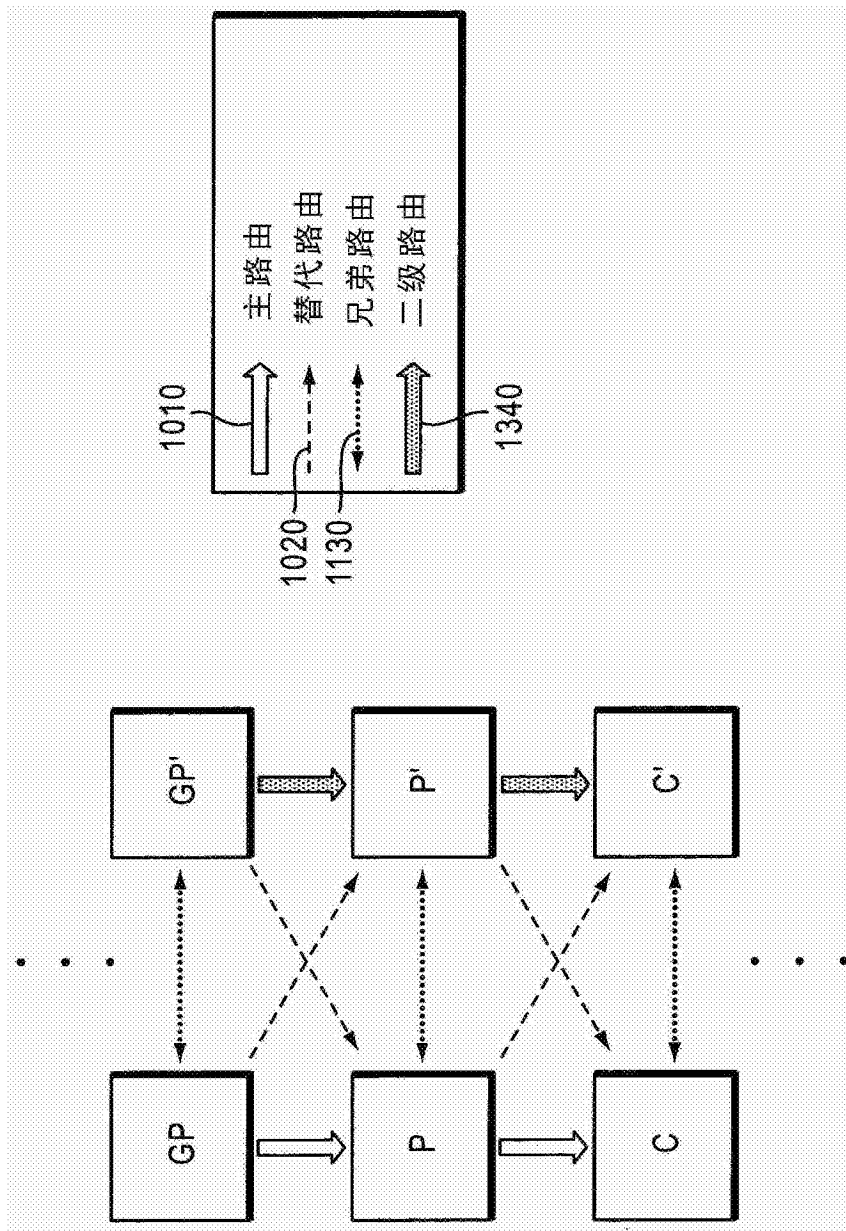


图 15

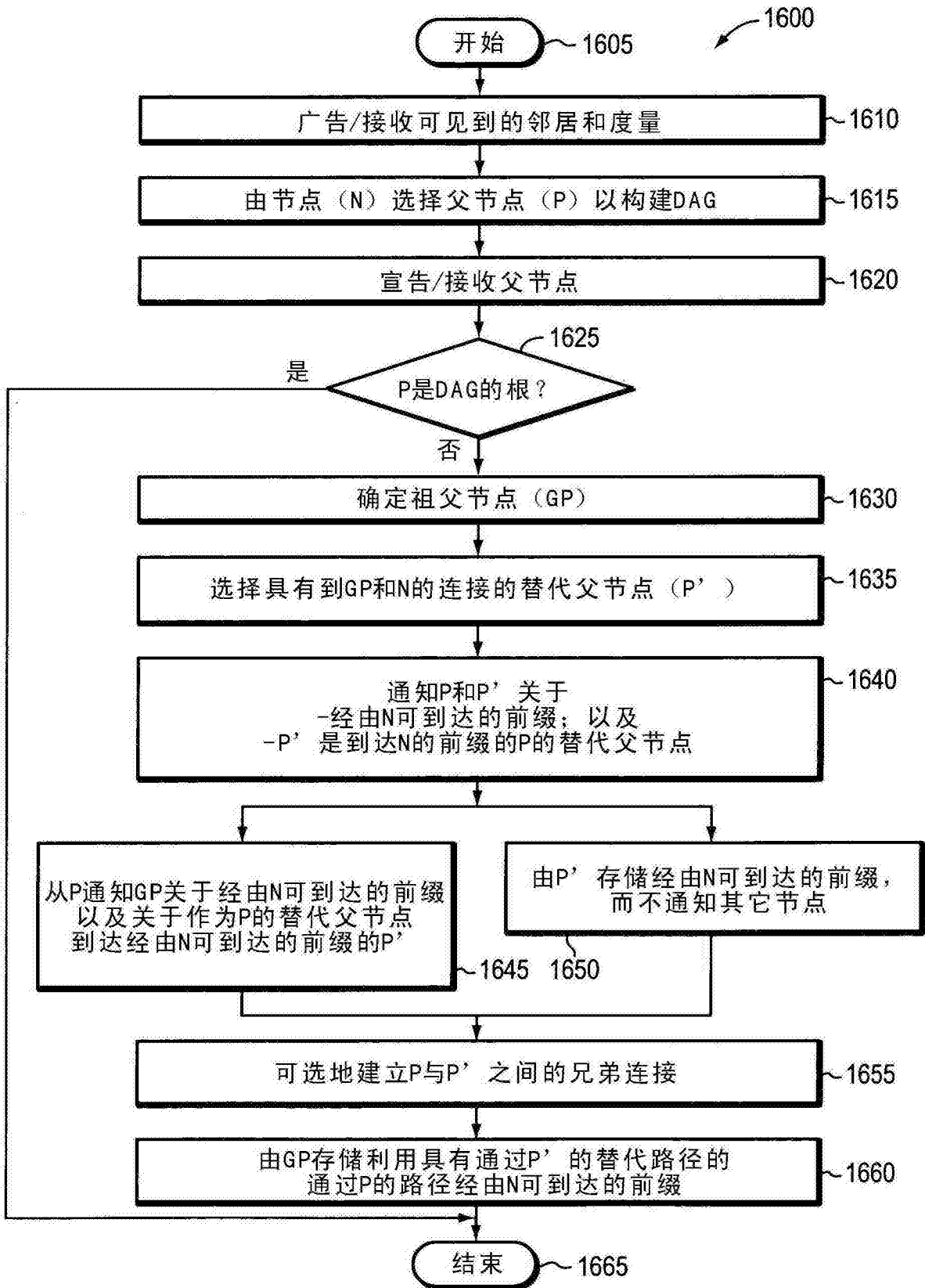


图 16