



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101690010 B

(45) 授权公告日 2012. 11. 28

(21) 申请号 200880019368. 5

(22) 申请日 2008. 04. 11

(30) 优先权数据

60/911, 795 2007. 04. 13 US

12/101, 005 2008. 04. 10 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2009. 12. 08

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2008/004775 2008. 04. 11

(87) PCT申请的公布数据

W02008/127688 EN 2008. 10. 23

(73) 专利权人 HART 通信基金会

地址 美国德克萨斯州

(72) 发明人 华莱士·A·普拉特

马克·J·尼克松

埃里克·D·罗特沃尔德

罗宾·S·普罗马尼克

托马斯·P·伦瓦尔 尤里·佐奇

(74) 专利代理机构 北京德琦知识产权代理有限公司 11018

代理人 罗正云 王琦

(51) Int. Cl.

H04L 12/28(2006. 01)

H04L 7/00(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1170464 A, 1998. 01. 14, 全文.

US 2006/0029060 A1, 2006. 02. 09, 全文.

US 2005/0213612 A1, 2005. 09. 29, 全文.

审查员 闫洪波

权利要求书 4 页 说明书 19 页 附图 7 页

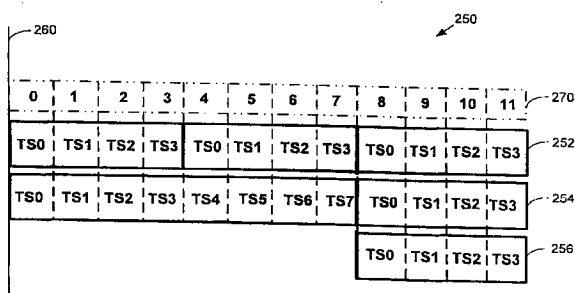
(54) 发明名称

在无线通信协议中同步时隙

(57) 摘要

一种使在过程控制环境下运行且包括多个网络设备的无线网状网络中的通信同步的方法,包括:定义预定持续时间的通信时隙,其中所述多个网络设备中的各个网络设备仅在该通信时隙内发送或接收数据;生成包括至少一个超帧的网络调度表,所述至少一个超帧具有重复的超帧循环,各个超帧循环具有相对于各个循环的开始被连续编号的若干个通信时隙,所述通信时隙的数目定义所述至少一个超帧的长度;维护绝对隙数,该绝对隙数指示自从所述无线网络的启动时刻以来被调度的通信时隙的数目;使所述多个网络设备中的各个网络设备关于独立通信时隙的时序同步;以及基于所述绝对隙数,使所述多个网络设备中的各个网络设备与所述网络调度表同步。

CN 101690010 B



1. 一种使在过程控制环境下运行且包括多个网络设备的无线网状网络中的通信同步的方法,包括:

定义预定持续时间的通信时隙,其中所述多个网络设备中的各个网络设备仅在该通信时隙内发送或接收数据;

生成包括至少一个超帧的网络调度表,所述至少一个超帧具有重复的超帧循环,各个超帧循环具有相对于各个循环的开始被连续编号的若干个通信时隙,所述通信时隙的数目定义所述至少一个超帧的长度;

维护绝对隙数,该绝对隙数指示自从所述无线网络的启动时刻以来被调度的通信时隙的数目;

使所述多个网络设备中的各个网络设备关于独立通信时隙的时序同步;以及

基于所述绝对隙数,使所述多个网络设备中的各个网络设备与所述网络调度表同步。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中使所述多个网络设备中的各个网络设备与所述网络调度表同步包括:在各个网络层协议数据单元中发送所述绝对隙数。

3. 根据权利要求1所述的方法,使所述多个网络设备中的各个网络设备关于独立通信时隙的时序同步包括:

使所述多个网络设备中的各个网络设备关于通信时隙时序同步以计算下一个被调度的通信时隙的开始时刻,包括:

在所述多个网络设备中的各个网络设备处计算数据包的期望到达时刻;

在实际到达时刻接收该数据包;

计算所述期望到达时刻与所述实际到达时刻之差;以及

基于计算出的差计算经校正的下一个被调度的通信时隙的开始时刻。

4. 根据权利要求3所述的方法,其中调节所述网络设备的同步包括:将计算出的所述期望到达时刻与所述实际到达时刻之差在确认包中发送给邻居网络设备,其中所述确认包与数据链路协议层相关联。

5. 根据权利要求1所述的方法,其中使所述多个网络设备中的各个网络设备与所述网络调度表同步包括:在各个网络层协议数据单元中发送所述绝对隙数的一部分,其中所述绝对隙数的一部分包括所述绝对隙数的若干个最低有效位。

6. 根据权利要求1所述的方法,其中生成网络调度表进一步包括:创建多个并发超帧,各个超帧具有不同的长度,其中所述多个网络设备中的各个网络设备在所述多个并发超帧中的至少一个并发超帧中进行通信;并且其中

使所述多个网络设备中的各个网络设备与所述网络调度表同步包括:获取所述多个超帧中与该网络设备相关联的至少一个超帧中的相对隙数。

7. 根据权利要求4所述的方法,其中使所述多个网络设备中的各个网络设备与所述网络调度表同步包括:应用以下公式

相对隙数 =  $ASN \% \text{超帧长度}$ ;其中

相对隙数是所述多个超帧中与该网络设备相关联的至少一个超帧中的相对隙数,

ASN 是所述绝对隙数,

%是模数除法运算,并且

超帧长度是所述多个超帧中与该网络设备相关联的至少一个超帧的长度。

8. 根据权利要求 1 所述的方法,进一步包括:基于所述绝对隙数的一值,使尝试加入所述无线网状网络的正在加入的设备同步,包括:

从所述多个网络设备中的至少一个网络设备发送广告消息;

将所述绝对隙数的该值包括在所述广告消息中;

在所述正在加入的设备处接收所述广告消息;以及

基于所述正在加入的设备处的所述绝对隙数的该值,计算所述网络调度表的至少一个超帧内的相对隙数。

9. 根据权利要求 1 所述的方法,其中维护绝对隙数包括:在所述多个网络设备中的各个网络设备处独立地维护所述绝对隙数的副本。

10. 根据权利要求 1 所述的方法,其中维护绝对隙数进一步包括:在负责生成所述网络调度表的网络管理器处维护全局绝对隙数。

11. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述无线网状网络包括连接所述多个网络设备中的网络设备对的多条多跳通信路径;并且其中使所述多个网络设备中的各个网络设备与所述网络调度表同步包括:沿至少两条不同的路径发送所述绝对隙数,其中这两条不同的路径在至少一跳上不同。

12. 一种用于使在过程控制环境下运行且包括多个网络设备的无线网状网络中的通信同步的方法,包括:

定义预定持续时间的通信时隙,以用于在所述多个网络设备中的至少一个网络设备处发送或接收数据,其中所述多个网络设备中的至少一些网络设备是执行过程控制功能的现场设备;

在所述无线网状网络的运行期间连续调度非重叠的相邻通信时隙;

维护绝对隙数计数器,该绝对隙数计数器指示自从形成所述无线网状网络以来被调度的预定持续时间的通信时隙的数目;

基于所述绝对隙数使所述多个网络设备之间的通信同步,包括使一现场设备与所述无线网状网络同步,包括:

将在该现场设备处存储的绝对隙数的值与由所述无线网状网络维护的值进行匹配;并且

基于所匹配的绝对隙数和该现场设备的更新速率计算所述现场设备被调度为发送数据的时间。

13. 根据权利要求 12 所述的方法,其中维护绝对隙数计数器包括:

在形成所述无线网状网络时将所述绝对隙数计数器设置为 0;并且

每当出现新的通信时隙时将所述绝对隙数计数器递增 1。

14. 根据权利要求 12 所述的方法,其中维护绝对隙数计数器包括:在负责调度所述无线网状网络中的通信的网络管理器处维护全局绝对隙数;并且其中基于所述绝对隙数使所述多个网络设备之间的通信同步包括:

将所述全局绝对隙数传播到所述多个网络设备中的各个网络设备;并且

在所述多个网络设备中的各个网络设备处更新所述全局绝对隙数的副本以与所传播的全局绝对隙数相匹配。

15. 根据权利要求 14 所述的方法,其中所述网络管理器驻留在将所述无线网状网络连

接到工厂自动化网络的网关设备中；并且其中将所述全局绝对隙数传播到所述多个网络设备中的各个网络设备包括：从所述网关设备传播所述全局绝对隙数。

16. 根据权利要求 12 所述的方法，进一步包括：

根据所述现场设备的调度更新速率从该现场设备发送更新；

将该现场设备转换到睡眠模式，其中该现场设备在睡眠模式下不接收或发送数据；并

且

将该现场设备在下一个调度更新之前立即从所述睡眠模式转换走。

17. 一种在过程控制环境下运行的无线网状网络，包括：

绝对隙数计数器，存储自从形成所述无线网状网络以来被调度的预定持续时间的通信时隙的数目；

多个无线现场设备，各个无线现场设备根据特定设备调度表与所述多个现场设备中的至少另一现场设备进行通信，并且所述各个无线现场设备包括：

存储单元，存储与该现场设备相关联的更新超帧的定义，其中所述更

新超帧包括重复的超帧循环序列，各个循环具有相对于各个循环的开始被

顺序编号的若干个通信时隙；以及

处理单元，基于所述绝对隙数计算所述更新超帧内的相对时隙；以及

网络管理器，维护所述多个无线现场设备中的各个无线现场设备的各个特定设备调度表。

18. 根据权利要求 17 所述的无线网状网络，进一步包括：

所述多个无线现场设备中的无线现场设备对之间的多个直接无线连接；

多个通信路径，各自包括所述多个直接无线连接中的至少一个直接无线连接，连接所述多个无线现场设备中的一无线现场设备对；其中

所述无线网状网络沿所述多个通信路径中的至少两个通信路径将所述绝对隙数的值传播到所述多个无线现场设备中的各个无线现场设备。

19. 根据权利要求 17 所述的无线网络，进一步包括以可操作的方式将所述无线网状网络连接到外部网络的网关设备，并且其中该网关设备维护所述绝对隙数计数器。

20. 根据权利要求 17 所述的无线网络，其中所述网络管理器是在所述网关设备上运行的软件实体。

21. 一种用于使在过程控制环境下运行且包括多个网络设备的无线网状网络中的通信同步的方法，包括：

定义预定持续时间的通信时隙，其中所述多个网络设备中的各个网络设备仅在该通信时隙内发送或接收数据；

生成包括至少一个超帧的网络调度表，所述至少一个超帧具有重复的超帧循环，各个超帧循环具有相对于各个循环的开始被连续编号的若干个通信时隙，所述通信时隙的数目定义所述至少一个超帧的长度；

维护绝对隙数，该绝对隙数指示自从所述无线网状网络的启动时刻以来被调度的通信时隙的数目；并且

基于所述绝对隙数，使所述多个网络设备中的各个网络设备与所述网络调度表同步。

22. 一种用于使在过程控制环境下运行且包括多个网络设备的无线网状网络中的通信

同步的方法,包括:

定义预定持续时间的通信时隙,其中所述多个网络设备中的各个网络设备仅在多个被调度的通信时隙之一内发送或接收数据,其中所述多个网络设备中的至少一些网络设备是执行过程控制功能的现场设备;

将所述多个网络设备中的第一网络设备指定为所述多个网络设备中的第二网络设备的时隙同步源;

从所述多个网络设备中的第一网络设备向所述多个网络设备中的第二网络设备发送第一数据包,包括:

在所述第一数据包中发送时间调节值;并且

在所述多个网络设备中的第二网络设备处基于所述时间调节值调节时隙同步。

23. 根据权利要求 22 所述的方法,其中所述第一数据包是确认数据包;并且其中在所述第一数据包中发送时间调节值包括:

计算非确认数据包到达所述多个网络设备中的第一网络设备的期望到达时刻;其中所述确认数据包是响应于所述非确认数据包而发送的;

检测所述非确认数据包的实际到达时刻;

计算所述期望到达时刻与所述实际到达时刻之差。

24. 根据权利要求 22 所述的方法,进一步包括:

将所述多个网络设备中的第三网络设备指定为所述多个网络设备中的第一网络设备的时隙同步源,以形成包括所述多个网络设备中的第一网络设备、所述多个网络设备中的第二网络设备以及所述多个网络设备中的第三网络设备的同步链。

25. 根据权利要求 24 所述的方法,其中形成同步链包括:

将所述多个网络设备的子集与所述同步链进行关联;并且

在所述多个网络设备的子集中的另一网络设备是所述多个网络设备的子集中的第一网络设备的直接同步源或间接同步源中的一种的情况下,阻止所述多个网络设备的子集中的第一网络设备充当所述多个网络设备的子集中的该另一网络设备的时隙同步源。

26. 根据权利要求 24 所述的方法,其中所述无线网状网络包括将所述无线网状网络连接到外部网络的网关设备;并且其中形成同步链包括:将所述网关设备与所述多个网络设备中的各个网络设备的同步源进行关联。

## 在无线通信协议中同步时隙

### 技术领域

[0001] 本发明总的来说涉及无线通信,更具体地说,涉及使无线网络中的通信同步。

### 背景技术

[0002] 在过程控制行业中,已知的是,使用标准化通信协议来使由不同制造商制出的设备能够以易于使用和实现的方式彼此通信。过程控制行业中使用的一个众所周知的通信标准是可寻址远程发射机高速通道(HART)通信基础协议,通常称为HART协议。一般而言,HART协议支持专用导线或导线组上的数字和模拟混合信号,在专用导线或导线组上,在线过程信号(如控制信号、传感器测量值等)作为模拟电流信号(例如范围从4到20毫安)被提供,并且诸如设备数据、对设备数据的请求、配置数据、警报以及事件数据等等之类的其它信号,作为叠加或复用到与模拟信号相同的导线或导线组上的数据信号被提供。然而,HART协议当前需要使用专用、硬线通信线路,这导致需要在加工场内大量布线。

[0003] 在过去几年里,已经存在一种将无线技术结合到以某种受限方式包括过程控制行业的各种行业中的发展趋势。然而,在过程控制行业中,存在限制无线技术的完全结合、接受和使用的巨大障碍。具体来说,过程控制工业需要十分可靠的过程控制网络,因为信号的丢失可能导致工厂失去控制,从而导致灾难性的后果,包括爆炸、致命化学制剂或气体的释放等等。例如,Tapperson等人的美国专利No. 6, 236, 334公开了在过程控制行业中将无线通信作为副的或备用通信路径使用或用于发送非关键性的或冗余的通信信号。而且,在通常可以适用于过程控制行业的无线通信系统的使用上已经取得了许多进展,但是该无线通信系统尚未以在加工场内允许或提供可靠的并且在某些情况下完全无线的通信网络的方式应用于过程控制行业。例如,美国专利申请公开No. 2005/0213612、2006/0029060和2006/0029061公开了与一般无线通信系统相关的无线通信技术的各个方面。

[0004] 极大地抑制无线通信在过程控制行业的发展和应用的一个因素是难以对与无线通信网络一起使用的遗留设备进行改装。在某些情况下,设备根本无法被改装,需要用更新的、现成的无线模型进行更换。此外,由于变换到无线通信,很多支持性装置类似地被荒废。换句话说,无线网络不能容易地扩展有线网络。与过程控制行业尤其相关的另外的挑战在于,完全用无线基础设施更换有线基础设施,对于现有的有线装置来说成本很高,并且对于操作员来说具有能够被理解的不情愿。同时,无线网络通常要求固定天线或接入点发送和接收无线电信号,并且因此可能需要昂贵的基础设施,这使得无线通信的变换更加不被期望。因此,某些操作员可能意识到无线方式处理测量和控制的优点,而很多操作员可能不愿意拆除现有的装置、使完全可运行的有线设备退役而购买无线设备。

[0005] 造成无线标准在过程控制行业的增殖比预料的要慢的另一因素在于对诸如过程控制系统的技术员或操作员之类的用户的影响。在典型的过程控制系统的运行期间,用户可出于设备的配置、监测和控制功能而远程访问独立的设备。例如,为了能够通过HART协议访问和交换信息,设备被根据预定寻址方案指派以唯一地址。用户和针对过程控制行业的操作员和技术员开发的软件应用程序开始依赖于不能被可用的无线标准支持的有效

寻址方案。因此,普遍期待在过程控制行业中到无线标准的转变伴随着采用新的寻址方案、更新对应的软件应用程序和为员工提供额外的培训。

[0006] 另外,诸如 IEEE802. 11(x) WLAN 之类的现有无线标准中的某些并不满足过程控制行业的所有要求。例如,设备同时传达过程和控制数据,而这两种数据通常可能具有不同的传播延迟限制。通常,在过程控制行业中交换的某些关键性数据可能要求高效、可靠和及时的传递,而对此现有的无线协议无法总是保证。此外,由于过程控制行业中使用的某些模块用于控制非常敏感和有可能是危险的过程活动,因此适合该行业的无线标准需要在通信路径中提供冗余,而在已知的无线网络中,这显然不能获得。最后,某些过程控制设备可能对高功率无线电信号敏感,并且可能要求无线电发送限于或保持在控制得很好的功率水平。同时,可用的无线标准通常依赖于发送相对较强的信号以覆盖大片地理区域的天线或接入点。

[0007] 与有线通信协议类似,无线通信协议被期望提供高效、可靠和安全的交换方法。当然,由于介质的共享和开放特征,在有线网络中被开发以解决这些重要问题的大多数方法并不适用于无线通信。进一步,除了在有线通信协议之后的典型客观事实外,无线协议还面临关于使用无线电频谱的同一部分的若干网络的干扰和共存的问题的其它要求。麻烦的是,某些无线网络在无许可证的或向公众开放的频段中运行。因此,为这种网络服务的协议必须能够检测或解决与频率(信道)争用、无线电资源共享和协商等等相关的问题。

[0008] 在过程控制行业中,无线通信协议的开发者面临另外的挑战,例如,实现与有线设备的向后兼容、支持协议的先前有线版本,为改装了无线通信机的设备提供转变服务,并且提供可同时保证可靠性和有效性的路由技术。同时,仍然存在相当多的过程控制应用,在这些过程控制应用中存在即使有也很少的原地测量。当前,这些应用依赖于观测的测量值(例如,水位正在上升)或检查(例如,空调单元、泵、风机等等的周期性维护)来发现异常情况。为了采取措施,操作员经常需要面对面的讨论。如果利用测量和控制设备,则可能会大大简化这些应用中的许多应用。然而,当前的测量设备通常需要电力、通信基础设施、配置以及简直是不可用的支持基础设施。

[0009] 根据又一方面,过程控制行业需要为特定过程控制网络服务的通信协议能够适应具有不同数据传输要求、属性和功率能力的现场设备。具体来说,一些过程控制系统可以包括测量设备,这些测量设备常常(例如,每秒几次)向集中式控制器或向另一现场设备报告测量值。同时,在同一系统中的另一设备可以仅仅每小时一次报告测量值、警报或其它数据。然而,这两种设备可能都要求将各自的测量报告传播到目的主机,例如控制器、工作站或同级现场设备,而使用尽可能小的时间和带宽开销。

[0010] 更进一步,精确的时间同步通常对无线通信系统来说很重要,而且特别是对基于时分多址(TDMA)的协议来说很重要。因为 TDMA 技术通常包括在受控时间段内发送和接收数据,因此在 TDMA 通信方案中,接收器和发送器都必须知道每个时间段开始和结束的精确时间以及发送和接收时机。这些和类似的挑战在包括仅仅偶尔进行发送的设备的环境下尤为普遍。

[0011] 根据另一方面,时间同步对 TDMA 通信方案的正确运行是必要的。不管特定的设备使用哪种硬件时间源(例如石英、陶瓷振荡器等等),(例如由于温度或电压偏差或老化而引起的)通信设备之间有些时滞都是不可避免的。在过程控制行业中,许多设备常常受热

和受压,设备可能会经常失去同步。

### 发明内容

[0012] 在例如过程控制工厂中使用的无线网状网络包括根据被定义为一组并发重叠超帧的网络调度表进行通信的多个网络设备。每个超帧包括若干个预定持续时间的通信时隙,并且每个超帧在先前的超帧循环中的所有通信时隙都出现之后立即作为新的超帧循环进行重复。在每个超帧循环内的时隙相对于该循环的开始被顺序编号。该无线网状网络另外维护绝对隙数(ASN),其指示自从形成该无线网络时以来被调度的时隙的数目。

[0013] 在某些实施例中,专用服务定义超帧,并且根据网络设备和与这些网络设备通信的外部主机的需要分配所这些超帧中的每一个内的时隙。如果需要的话,网络设备可参与多个超帧,以发送该网络设备特有的数据并转发其它网络设备之间的数据。可选地,该专用服务可鉴于诸如数据突发、拥塞、块传输以及网络设备进入或离开该网络之类的网络状况变化而动态地创建或毁灭超帧。而且,网络设备或该专用服务可通过发出特定命令在不毁灭该超帧的情况下有效地禁用该超帧。进一步,该网络调度表可包括多个通信信道,并且在某些实施例中,每个通信信道可对应于唯一的载波无线电频率。每个网络设备可具有包括相对时隙数和通信信道标识符的独立调度表,并且该独立调度表可指定被独立调度的时隙,该网络设备使用这些被独立调度的时隙发送过程数据、路由从另一网络设备发起的数据、接收特定设备数据或接收广播数据。在某些实施例中,网络设备的独立调度表可指定在不同的超帧循环期间与若干个不同的通信信道相关联的时隙,以便该网络设备在特定超帧的具有相同相对隙数的时隙内通过不同的通信信道发送或接收数据。

[0014] 根据另一方面,正在加入该无线网络的设备可发现来自该正在加入的设备的潜在邻居的ASN的当前值。在从相应的消息中提取出该ASN时,该正在加入的设备可确定被调度的超帧中的每一个中的当前时隙(即“相对时隙”)。结果,该正在加入的设备可在预定义的时隙之一开始参与该无线调度表的通信方案,从而减少了冲突的概率并简化了资源竞争的解决。

[0015] 根据又一方面,设备可挂起与该通信网络的通信,而不必毁灭为公布该设备的更新数据而预留的一个或更多超帧。该设备可能希望在稍后重新加入该无线网络,并且为了确定重新加入的设备何时可以重新开始公布相应的过程数据,该正在重新加入的设备可检查该ASN以确定与该正在重新加入的设备的独立调度表相关的相对隙数中的每一个。在某些实施例中,重新加入的设备可在被另一设备或诸如网络管理器之类的软件实体从无线网络中临时挂起之后执行基于ASN的重新同步程序。

[0016] 在某些实施例中,网络设备可另外发送ASN数的一部分,或“ASN片断(snippet)”,以提供诊断信息。在一个这样的实施例中,每个网络设备在与无线协议的网络层相关联的每个数据单元(NPDU)中包括该ASN片断。在某些实施例中,该ASN片断包括精确ASN值的若干个最低有效位。在某些实施例中,网络设备可使用该ASN片断来计算通过该无线网络传播的数据包的寿命。

### 附图说明

[0017] 图1是示出使用无线HART(WirelessHART)网络来提供现场设备和路由器设备之



间的无线通信的系统的框图,这些现场设备和路由器设备经由网关设备连接到工厂自动化网络。

[0018] 图 2 是根据这里所讨论的实施例之一实现的无线 HART 协议的各层的示意图。

[0019] 图 3 是示出根据这里讨论的实施例之一定义的通信时隙的各段的结构图。

[0020] 图 4 是示出三隙超帧的时隙与若干个通信设备的示例性关联的结构图。

[0021] 图 5 示意性地示出示例性超帧的时隙与若干个通信信道的关联。

[0022] 图 6 是示意性地示出包括若干个不同长度的并发超帧的示例性超帧定义的结构图。

[0023] 图 7 是示意性地示出若干个不同长度的并发超帧与绝对时隙计数器之间的关系图的另一结构图。

[0024] 图 8 示出网络设备在与图 1 的无线网络同步时可以执行的示例性状态机。

### 具体实施方式

[0025] 图 1 示出示例性网络 10,在示例性网络 10 中,可以使用这里所描述的同步技术。具体来说,网络 10 可以包括与无线通信网络 14 连接的工厂自动化网络 12。工厂自动化网络 12 可以包括通过通信骨干 20 连接的一个或更多固定工作站 16 和一个或更多便携式工作站 18,其中通信骨干 20 可以利用以太网、RS-485、Profibus DP 或利用适合的通信硬件和协议来实现。这些工作站和形成工厂自动化网络 12 的其它装置可以向工厂员工提供各种控制和监督功能,包括对无线网络 14 中的设备的访问。工厂自动化网络 12 和无线网络 14 可以经由网关设备 22 进行连接。更为具体地,网关设备 22 可以采用有线方式连接到骨干 20 并且可以利用任何适合的(例如已知的)通信协议与工厂自动化网络 12 进行通信。可以采用任何其它想要的方式(例如,作为单机设备、可插入主机工作站 16 或 18 的扩展槽的卡、作为基于 PLC 或基于 DCS 的系统的输入/输出(I/O)子系统的一部分等等)来实现的网关设备 22 可以提供在网络 12 上运行且具有对无线网络 14 的各种设备的访问权限的应用程序。除了协议和命令转换,网关设备 22 还可以提供与在网络 14 中实现的无线协议(这里称为无线 HART 协议)相关联的调度方案的时隙和超帧(在时间上均匀分隔开的通信时隙组)所使用的同步计时。

[0026] 在一些配置中,网络 10 可以包括多于一个网关设备 22 以提高网络 10 的效率和可靠性。具体来说,多个网关设备 22 可以提供用于无线网络 14 和工厂自动化网络 12 以及外部世界之间的通信的额外带宽。另一方面,网关设备 22 可根据无线网络 14 内的网关通信需要向适当的网络服务请求带宽。可以驻留在网关设备 22 中的网络管理器软件模块 27 可以在该系统在运行的同时进一步重新评价需要的带宽。例如,网关设备 22 可以从驻留在无线网络 14 外部的宿主接收请求以检索大量的数据。然后,网关设备 22 可以请求网络管理器 27 分配额外带宽以适应该事务。例如,网关设备 22 可以发出适当的服务请求。然后,网关设备 22 可以在该事务完成时请求网络管理器 27 释放该带宽。

[0027] 通常,网络管理器 27 可以负责使无线网络 14 适应不断变化的状况并且负责调度通信资源。当网络设备加入和离开该网络时,网络管理器 27 可以更新它的无线网络 14 的内部模型并且使用这种信息产生通信调度表和通信路由。另外,网络管理器 27 可以考虑无线网络 14 的总体性能以及诊断信息,以使无线网络 14 适应拓扑和通信需求的变化。一旦

网络管理器 27 已经产生总体通信调度表, 总体通信调度表的所有或各个部分可以通过一连串命令从网络管理器 27 传输到这些网络设备。

[0028] 为了进一步增加带宽并提高可靠性, 网关设备 22 可以在功能上被分成虚拟网关 24 和一个或更多网络接入点 25A-B, 网络接入点 25A-B 可以是与网关设备 22 进行有线通信的分立物理设备。然而, 虽然图 1 示出了物理上分离的网关网络 22 和接入点 25A-B 之间的有线连接 26, 但是可以理解的是, 元件 22-26 也可以是被提供为一体的设备。因为网络接入点 25A-B 可以与网关设备 22 物理分离, 接入点 25A-B 可以在战略上放置在网络 14 的几个不同的位置。除了增加带宽, 多个接入点 25A-B 可以通过利用其它接入点 25B 补偿一个接入点 25A 处的可能差的信号质量来增加网络 14 的总体可靠性。在一个或更多接入点 25A-B 出现故障的情况下, 拥有多个接入点 25A-B 还提供了冗余。

[0029] 除了分配带宽, 要不然的话桥接网络 12 和 14, 网关设备 22 还可执行无线网络 14 中的一个或更多管理功能。如图 1 中示出的, 网络管理器软件模块 27 和安全管理器软件模块 28 可以存储在网关设备 22 中并在网关设备 22 中执行。可替代地, 网络管理器 27 和 / 或安全管理器 28 可以在工厂自动化网络 12 中的主机 16 或 18 之一上运行。例如, 网络管理器 27 可以在主机 16 上运行而安全管理器 28 可以在主机 18 上运行。网络管理器 27 可以负责配置网络 14、调度无线设备之间的通信、管理与这些无线设备相关联的路由表、监测无线网络 14 的总体健康、向工作站 16 和 18 报告无线网络 14 的健康, 以及其它管理和监督功能。虽然在网络 14 中有单个网络管理器 27 运行可能就足够了, 但冗余网络管理器 27 可以类似地被提供以保护无线网络免受意料之外的设备故障。同时, 安全管理器 28 可以负责保护无线网络 14 不受到未被授权的设备的恶意或无意入侵。为了这个目的, 安全管理器 28 可以管理鉴权代码, 验证由尝试加入无线网络 14 的设备提供的授权信息, 更新诸如到期密钥之类的暂时性安全数据以及执行其它安全功能。

[0030] 继续参照图 1, 无线网络 14 可以包括一个或更多现场设备 30-36。通常, 像那些在化工、石油或其它加工厂中使用的过程控制系统包括诸如阀、阀定位器、开关、传感器 (例如温度、压力和流速传感器)、泵、风机等等之类的现场设备。现场设备执行该过程内的物理控制功能, 例如, 开阀或关阀或获取过程参数的测量值。在无线通信网络 14 中, 现场设备 30-36 为无线通信包的生成者和使用者。

[0031] 设备 30-36 可以利用无线通信协议进行通信, 该无线通信协议提供了类似的有线网络的功能, 具有类似或改进的运行性能。具体来说, 该协议可以使得该系统能执行过程数据监测、关键数据监测 (具有更严格的性能要求)、校准、设备状态和诊断监测、现场设备故障检修、试运转以及监督过程控制。然而, 执行这些功能的应用程序通常要求由无线网络 14 支持的协议在必要时提供快速更新, 在需要时移动大量的数据, 并且支持加入无线网络 14 的网络设备, 即使仅仅暂时用于试运转和修护工作。

[0032] 在一个实施例中, 支持无线网络 14 的网络设备 30-36 的无线协议是已知有线 HART 协议的扩展, 这是一种被广泛接受的行业标准, 其维护有线环境的简单工作流程和实践。在这种意义上, 网络设备 30-36 可以被认为是无线 HART 设备。通过简单增加新的设备描述文件, 用于有线 HART 设备的相同工具可以容易地适用于无线设备 30-36。以这种方式, 该无线协议可以借助利用有线 HART 协议获得的经验和知识的杠杆作用来使培训最少并简化维护和支持。一般而言, 使协议适应于无线应用, 以便在设备上运行的大多数应用程序没有“注

意到”从有线网络到无线网络的转变可以是方便的。显然,这样的透明性大大减小了升级网络的成本,并且更为一般地,减小了与开发和支持可以和这样的网络一起使用的设备相关的成本。对众所周知的 HART 协议进行无线扩展的一些另外的好处包括:对用有线设备难以获得或需要昂贵的代价才能获得的测量结果的访问以及从可以安装在膝上型电脑、手持机、工作站等等上的系统软件配置和操作仪器的能力。另一个好处是有能力将诊断警告从无线设备返回通过通信基础设施送到在集中放置的诊断中心。例如,加工厂中的每个热交换器可能与无线 HART 设备安装在一起并且当交换器检测到问题时,可以警告终端用户和供应商。又一好处是有能力监测呈现严重健康和安全隐患的状况。例如,无线 HART 设备可能放置在路上的洪水区并用于警告当局或司机有关水位的情况。其它好处包括:对宽范围的诊断警告的访问,和在无线 HART 设备处存储趋势值以及计算值的能力,以便当建立了与该设备的通信时,可以将这些值传输到主机。在这种方式下,无线 HART 协议可以提供使主机应用程序能够无线访问现有的 HART 使能现场设备的平台,并且该无线 HART 协议可以支持电池供电的、仅限无线的 HART 使能现场设备的部署。该无线 HART 协议可以用于建立过程应用的无线通信标准,并且可以进一步通过增强基本的 HART 技术以支持无线过程自动化应用,来扩展 HART 通信的应用以及该协议提供给过程控制行业的好处。

[0033] 再次参见图 1,现场设备 30-36 可以是无线 HART 现场设备,每个现场设备 30-36 采用整体单元的形式并且支持无线 HART 协议栈的所有层。例如,在网络 14 中,现场设备 30 可以是无线 HART 流量计,现场设备 32 可以是无线 HART 压力传感器,现场设备 34 可以是无线 HART 阀定位器,现场设备 36 可以是无线 HART 压力传感器。重要的是,无线设备 30-36 可以支持用户已经从有线 HART 协议见到的所有的 HART 特征。如本领域技术人员将会懂得的是,该 HART 协议的核心实力之一在于它的严格的协同工作能力要求。在一些实施例中,所有无线 HART 装置包括核心的强制性能力以便允许(例如,由不同厂商制造的)同等的设备类型被互换而不会危及系统运行。而且,无线 HART 协议向后兼容诸如设备描述语言 (DDL) 之类的 HART 核心技术。在优选实施例中,所有的无线 HART 设备应该支持 DDL,其确保终端用户直接具有开始使用无线 HART 协议的工具。

[0034] 如果需要的话,网络 14 可以包括非无线设备。例如,图 1 的现场设备 38 可以是遗留 4-20mA 设备,并且现场设备 40 可以是传统的有线 HART 设备。为了在网络 14 内进行通信,现场设备 38 和 40 可经由无线 HART 适配器 (WHA) 50 连接到无线 HART 网络 14。另外,WHA 50 可以支持其它通信协议,例如,Foundation<sup>®</sup> Fieldbus、PROFIBUS、DevicesNet 等等。在这些实施例中,WHA 50 支持在协议栈的较下层上的协议转换。另外,假设单个 WHA 50 也可以充当多路复用器并且可以支持多个 HART 或非 HART 设备。

[0035] 工厂员工另外可使用手持式设备进行网络设备的安装、控制、监测和维护。一般而言,手持式设备是便携式装置,该便携式装置可以直接连接到无线网络 14 或通过网关设备 22 连接到无线网络 14 作为工厂自动化网络 12 上的主机。如图 1 示出的,连接无线 HART 的手持式设备 55 可以直接与无线网络 14 进行通信。当与形成的无线网络 14 一起运行时,手持式设备 55 可以只是作为另一无线 HART 现场设备加入网络 14。当与没有连接到无线 HART 网络的目标网络设备一起运行时,手持式设备 55 可以通过与该目标网络设备形成它自己的无线网络,作为网关设备 22 和网络管理器 27 的结合来运行。

[0036] 连接工厂自动化网络的手持式设备(未示出)可以用于通过诸如 Wi-Fi 之类的已

知组网技术连接到工厂自动化网络 12。该设备采用与外部工厂自动化服务器（未示出）相同的方式通过网关设备 22 与网络设备 30-40 进行通信，或者工作站 16 和 18 与设备 30-40 进行通信。

[0037] 另外，无线网络 14 可以包括路由器设备 60，该路由器设备 60 是从一个网络设备向另一个网络设备转发包的网络设备。正在充当路由器设备的网络设备使用内部路由表来指挥路由，即来决定特定的包应该被发送给哪个网络设备。在那些无线网络 14 上的所有设备都支持路由的实施例中，可以不需要诸如路由器 60 之的单机路由器。然而，（例如为了扩展网络，或为了节省该网络中的现场设备的电力）添加一个或更多专用路由器 60 到网络 14 可以是有益的。

[0038] 直接连接到无线网络 14 的所有设备可以被称为网络设备。具体来说，无线现场设备 30-36、适配器 50、路由器 60、网关设备 22、接入点 25A-B 以及无线手持式设备 55 是为了路由和调度目的的网络设备，这些网络设备中的每一个形成无线络 14 的节点。为了提供非常健壮的和容易扩展的无线网络，网络中的所有设备可以支持路由并且每个网络设备可以用诸如 HART 地址之类的实质上唯一的地址来进行全局标识。网络管理器 27 可以包含网络设备的完整列表，并且可以指派给每个设备短的、网络唯一的 16 位别名。另外，每个网络设备可以存储与更新速率、连接会话以及设备资源相关的信息。简而言之，每个网络设备维护与无线网络 14 内的路由和调度相关的最新信息。每当新的设备加入该网络时或每当网络管理器 27 检测到或发起无线网络 14 的拓扑或调度的改变时，网络管理器 27 可以将该信息传达到网络设备。

[0039] 此外，每个网络设备可以存储并维护该网络设备在侦听操作期间已经识别的邻居设备的列表。一般而言，网络设备的邻居是潜在能够根据由相应的网络强制实行的标准建立与该网络设备的连接的任何类型的另一个网络设备。在为无线 HART 网络 14 的情况下，该连接是直接无线连接。然而，将会理解的是，邻居设备还可以是有线方式连接到特定设备的网络设备。如稍后将要讨论的，网络设备通过广告或在指定的时段发出的特殊消息来促进其它网络设备发现它们。可操作地连接到无线网络 14 的网络设备具有一个或更多邻居，这些网络设备可以根据广告信号的强度或根据一些其它准则选择这些邻居。

[0040] 在如图 1 示出的实例中，由直接无线连接 65 连接的一对网络设备中的每个设备将另一个识别为邻居。无线网络 14 的网络设备可以形成大量的设备间连接 65。建立两个网络设备之间的直接无线连接 65 的可能性和愿望由诸如这些节点之间的物理距离、这些节点（设备）之间的障碍、这两个节点中的每一个节点处的信号强度等等若干因素来确定。进一步，两个或更多直接无线连接 65 可以用于形成不能形成直接无线连接 65 的节点之间的通信路径。例如，无线 HART 手持式设备 55 和无线 HART 设备 36 之间的直接无线连接 65，连同无线 HART 设备 36 和路由器 60 之间的直接无线连接 65，形成设备 55 和 6 之间的通信路径。

[0041] 每个无线连接 65 由与发送频率、接入无线电资源的方法等有关的一个大的参数组特征化。本领域普通技术人员将认识到的是，通常，无线通信协议可以在指定频率上运行，例如由美国的联邦电信委员会（FCC）指派的那些频率，或运行于无许可证的无线电频段（例如，2.4GHz）。尽管这里讨论的系统和方法可以应用于任何指定频率或频率范围上运行的无线网络，但是下面讨论的示例性实施例涉及与运行于无线电频谱上的无许可证的或

者共享部分的无线网络 14。根据这个实施例,无线网络 14 可以被容易地激活或调整为根据需要在特定的无许可证的频率范围中运行。

[0042] 使用无许可证的频带的无线网络协议的核心要求之一是以最小的扰乱性与使用同一频带的其它装备共存。共存一般定义为一个系统在共享环境中执行任务的能力,在该共享环境中,其它系统能够类似地执行它们的任务,同时遵照同一准则组或者不同(并且可能未知的)的准则组。在无线环境中共存的一个要求是在该环境中出现干扰时该协议维持通信的能力。另一要求是该协议应该对其它通信系统造成尽可能小的干扰和扰乱。

[0043] 换句话说,无线系统与周围的无线环境共存的问题大体具有两个方面。共存的第一方面是该系统用以影响其它系统的方式。例如,特定系统的操作员或开发者可以询问一个发射器发送的信号对接近该特定系统运行的其它无线电系统具有什么影响。更为具体地,该操作员可以询问,每当该发射机开启时该发射机是否扰乱某些其它无线设备的通信,或者该发射机是否在广播上花费过多的时间从而有效地“独占”(hogging)该带宽。理想地,每个发射机应该是不被其它发射机注意到的“安静邻居”。尽管该理想特性(如果有的话)很少能够达到,但创造了其它无线通信系统可以在其中运行得相当好的共存环境的无线系统可以被称为“好邻居”。无线系统的共存的第二方面是该系统在有其它系统或无线信号源的情况下运行得相当好的能力。具体来说,无线系统的健壮性可以取决于该无线系统防止在这些接收机处的干扰的能力有多好,取决于这些接收机是否由于接近的 RF 能量源而容易超载,取决于这些接收机对偶尔的位丢失的容忍度有多好,以及类似的因素。在某些行业中,包括过程控制行业,有许多重要的经常不允许数据丢失的潜在应用。能够在嘈杂的或动态的无线电环境中提供可靠通信的无线系统可以被称为“宽容的邻居”。

[0044] 有效的共存(即,作为好邻居和宽容的邻居)部分地依赖于有效使用三方面的自由:时间、频率和距离。当通信在 1) 在干扰源(或者其它通信系统)安静的时候发生;2) 与干扰信号不同的频率发生;或 3) 在足以远离该干扰源的位置发生时,该通信可能是成功的。尽管这些因素中的单个因素可能用于在无线电频谱的共享部分提供通信方案,但是这些因素中的两个或所有三个的结合可以提供高度的可靠性、安全性和速度。

[0045] 仍然参见图 1,网络管理器 27 或在网络 14 或 12 上运行的另一应用或服务可以鉴于以上讨论的这些因素定义无线通信网络 14 的主网络调度表 67。主网络调度表 67 可以为网络设备 25A-B 和 30-55 指定将诸如时间段和无线电频之类的资源的分配。具体来说,主网络调度表 67 可以指定网络设备 25A-B 和 30-55 中的每一个何时发送过程数据、代表其它网络设备路由数据、侦听从网络管理器 27 传播来的管理数据以及为了希望加入无线网络 14 的设备而发送广告数据。为了以有效方式分配无线电资源,网络管理器 27 可以鉴于无线网络 14 的拓扑定义并更新主网络调度表 67。更为具体地,网络管理器 27 可以根据在每个节点处标识的直接无线连接 65 来分配可用资源给无线网络 14 的节点中的每一个(即,无线设备 30-36、50 以及 60)。在这种意义上,网络管理器 27 可以鉴于在每个节点处的发送要求和路由可能性来定义和维护网络调度表 67。

[0046] 主网络调度表 67 可以将可用的无线电资源分成独立的通信信道,并且进一步以例如时分多址(TDMA)通信时隙为单位在每个信道上测量发送和接收时机。具体来说,无线网络 14 可以在某一频带内运行,该频带在大多数情况下可以安全地与若干截然不同的载波频率相关联,以便以一个频率进行的通信可以与以该频带内的另一频率进行的通信同时

发生。本领域普通技术人员将会理解的是,在典型应用中的载波频率(例如公共无线电)被充分地分隔开以防止相邻载波频率之间的干扰。例如,在 2.4GHz 频带中,IEEE 指派频率 2.455 给信道号 21,指派频率 2.460 给信道号 22,从而允许 2.4GHz 频带的两个相邻段之间隔开 5KHz。主网络调度表 67 可以因此将每个通信信道与截然不同的载波频率相关联,该载波频率可以是该频带的特定段的中心频率。

[0047] 同时,如使用 TDMA 技术的行业中通常所用的,术语“时隙”指特定的持续时间段,较大的时段被分成该特定的持续时间段以提供受控的共享方法。例如,一秒可以分成 10 等分的 100 毫秒时隙。虽然主网络调度表 67 优选地以单个固定持续时间的时隙分配资源,但是只要无线网络 14 的每个相关节点都被适当地通知了这种改变,那么改变这些时隙的持续时间也是可能的。继续 10 个 100 毫秒时隙的实例定义,两个设备可以每秒交换一次数据,在每秒的第一个 100ms 时段(即第一时隙)期间一个设备进行发送,在每秒的第四个 100ms(即第四时隙)期间,另一设备进行发送,而剩下的时隙未被占用。因此,在无线网络 14 上的节点可以通过发送频率以及相应的设备可以在其间发送和接收数据的时隙来标识被调度的发送时机和接收时机。

[0048] 为了使网络设备 25A-25B 和 30-50 与主网络调度表 67 适当同步,网络管理器 27 可维护一计数器 68 来跟踪自从无线网络 14 形成以来,即第一网络发起形成无线网络 14 的过程以来,所调度的时隙的数目。如以上所指示的,第一网络设备可以是例如网关设备 22。自从无线网络 14 开始以来经过的时隙数在这里被成为绝对隙数(“ASN”),与特定超帧中的时隙的相对隙数形成对比。网络管理器 27 可在形成无线网络 14 时将 ASN 计数器 68 初始化为零,然后在每次出现新时隙时将 ASN 计数器 68 递增 1。如下面更详细地论述的,网络设备 25A-25B 和 30-50 中的每一个可类似地维护 ASN 计数器 68 的本地副本,并周期性地将该本地副本与由网络管理器 27 或网关 22(例如网络管理器 27 和网关 22 可通过专用接口共享该信息)维护的主 ASN 计数器 68 进行同步。

[0049] 作为定义有效的和可靠的网络调度表 67 的一部分,网络管理器 27 可以将时隙在逻辑上组织成循环重复的组或超帧。如这里所使用的,超帧可以被更为精确地理解为一连串相等的超帧循环,每个超帧循环对应于形成连续时间段的若干相邻接的时隙的逻辑分组。在给定超帧内的时隙的数目定义了超帧的长度并且确定了每个时隙多久重复一次。换句话说,超帧的长度与单个时隙的持续时间相乘,指定了一个超帧循环的持续时间。另外,为了方便起见,可以对每个帧循环内的时隙进行连续编号。举一个具体的实例,网络管理器 27 可以将时隙的持续时间固定在 10 毫秒,并且可以定义长度为 100 的超帧,以产生 1 秒帧循环(即,10 毫秒乘以 100)。在基于 0 的编号方案中,该实例超帧可以包括编号为 0, 1, ... 99 的时隙。

[0050] 如以下更详细的讨论,网络管理器 27 减少了等待时间并且另外通过将多个不同大小的并发超帧包括在网络调度表 67 中来优化数据发送。而且,网络调度表 67 的一些或所有超帧可以跨越多个信道或载波频率。因此,主网络调度表 67 可以指定各个超帧的各个时隙和可用信道之一之间的关联。

[0051] 因此,主网络调度表 67 可以对应于独立的设备调度表的集合。例如,诸如阀定位器 34 之类的网络设备可以具有独立的设备调度表 69A。设备调度表 69A 可以仅仅包括与相应的网络设备 34 相关的信息。类似地,路由器 60 可以具有独立的设备调度表 69B。相应

地,网络设备 34 可以根据设备调度表 69A 发送和接收数据而不知道诸如该设备 60 的调度表 69B 之类的其它网络设备的调度表。为了这个目的,网络管理器 27 可管理总的网络调度表 67 和各个独立的设备调度表 69(例如,69A 和 69B),并且当需要时将独立的设备调度表 67 传达给相应的设备。在其它实施例中,独立的网络设备 25A-B 和 35-50 可以至少部分定义或协商设备调度表 69 并将向网络管理器 27 报告这些调度表。根据这个实施例,网络管理器 27 可以根据接收到的设备调度表 67 组合网络调度表 69,同时检查资源竞争并解决潜在的冲突。

[0052] 以上在概括描述的支持无线网络 14 的通信协议在这里被称为无线 HART 协议 70,并且参照图 2 更详细地讨论该协议的操作。如将会被理解的,直接无线连接 65 中的每一个可以根据无线 HART 协议 70 的物理和逻辑要求来传输数据。同时,无线 HART 协议 70 可以高效地支持在时隙内并且在与特定设备调度表 69 所定义的超帧相关联的载波频率上进行通信。

[0053] 图 2 示意性地示出了无线 HART 协议 70 的一个示例性实施例的各层,与众所周知的通信协议的 ISO/OSI 7 层模型各层近似对齐。作为比较,图 2 另外示出现有的“有线”HART 协议 72 的各层。将会理解的是,无线 HART 协议 70 不一定要具有有线对等体。然而,如下面将要详细讨论的,无线 HART 协议 70 可以通过与现有协议共享该协议栈的一个或更多上层来大大方便其实现。如以上所指示的,如以上所指示的,与为类似网络提供服务的有线协议 72 相比,无线 HART 协议 70 可以提供相同或更高层次的可靠性和安全性。同时,通过消除安装有线的需要,无线 HART 协议 70 可以提供若干重要的优点,例如降低与安装网络设备相关的成本。还将会理解的是,虽然图 2 将无线 HART 协议 70 表现为 HART 协议 72 的无线对等体,但这种特定的对应在这里仅仅是作为实例被提供。在其它可能的实施例中,无线 HART 协议 70 的一或更多层可以对应于其它协议,或如以上所提及的,无线 HART 协议 70 甚至可以与现有协议中的任何一个不共享最上面的应用层。

[0054] 如图 2 中示出的,HART 技术的无线扩展可以将至少一个新物理层(例如,IEEE802.15.4 无线电标准)和两个数据链路层(例如,有线和无线网络)添加给已知的 HART 实施。一般而言,无线 HART 协议 70 可以是安全的、在 2.4GHz ISM 无线电频段中运行的无线网络组网技术(块 74)。在一个实施例中,无线 HART 协议 70 可以在一个事务接一个事务的基础上利用可兼容 IEEE 802.15.4b 的直接序列扩频通信(DSSS)无线电和信道跳频。可以利用 TDMA 对该无线 HART 通信进行调停以调度链路活动(块 76)。同样,优选地,所有通信在指定的时隙内执行。一个或更多源设备和一个或更多目的设备可以被调度以在给定时隙中进行通信,并且每个时隙可以专门用于来自单个源设备的通信,或者这些源设备可以被调度为利用像 CSMA/CA 那样的共享通信接入模式进行通信。源设备可以发送消息到一个或更多特定的目标设备或者可以将消息广播到被指派时隙的所有目标设备。

[0055] 因为这里描述的无线 HART 协议允许部署网状拓扑,所以也可以指定重要的网络层 78。具体来说,网络层 78 可以使得单独的设备之间能够建立直接无线连接 65,并且使得无线网络 14 的特定节点(例如设备 34)和网关 22 之间能够通过一个或更多中间跳来路由数据。在某些实施例中,网络设备对 25A-B 和 30-50 可以建立包括一个或若干跳的通信路径,而在其它实施例中,所有数据可以要么向上游传播到网关设备 22,要么从网关设备 22 向下游传播到特定的节点。

[0056] 为了增强可靠性,无线 HART 协议 70 可以将 TDMA 与一种将多个无线电频率与单个通信源相关联的方法(例如,信道跳频)相结合。信道跳频提供了最小化干扰并减少多径衰落影响的频率分集。具体来说,数据链路层 76 可以生成单个超帧和多个载波频率之间的关联,数据链路层 76 以受控的和预定义的方式在所述多个载波频率之间循环。例如,无线 HART 网络 14 的特定场合的可用频带可以具有载波频率  $F_1, F_2, \dots, F_n$ 。超帧 S 的相关帧 R 可以被调度为,在循环  $C_n$  中以频率  $F_1$  出现,在接下来循环  $C_{n+1}$  中以频率  $F_5$  出现,在循环  $C_{n+2}$  中以频率  $F_2$  出现,等等。网络管理器 27 可以利用该信息配置相关网络设备,以便在超帧 S 中进行通信的网络设备可以根据超帧 S 的当前循环调整发送频率或接收频率。

[0057] 无线 HART 协议 70 的数据链路层 76 可以提供另外的将信道列入黑名单的特征,其限制这些网络设备使用该无线电频带中的某些信道。网络管理器 27 可以响应于检测到信道上的过多干扰或其它问题,将无线电信道列入黑名单。进一步,操作员或网管可以将信道列入黑名单以便保护使用无线电频带的固定部分的无线服务,否则的话该无线服务要与无线 HART 网络 14 共享该固定部分。在一些实施例中,无线 HART 协议 70 以超帧为基础控制列黑名单,以便每个超帧具有独立的被禁止信道的黑名单。

[0058] 在一个实施例中,网络管理器 27 负责分配、指派并调整与数据链路层 76 相关联的时隙资源。如果网络管理器 27 的单个例子支持多个无线 HART 网络 14,网络管理器 27 可以为无线 HART 网络 14 的每个例子生成总体调度表。该调度表可以被组织成包含相对于该超帧的起点进行编号的时隙的超帧。

[0059] 无线 HART 协议 70 可以进一步定义链路或链路对象以便在逻辑上统一调度和路由。具体来说,链路可以与具体的网络设备、具体的超帧、相对隙数、一个或更多链路选项(发送、接收、共享)以及链路类型(正常、广告、发现)相关联。如图 2 中示出的,数据链路层 76 可以是频率捷变的。更为具体地,信道偏移量可以用于计算用于执行通信的具体的无线电频率。网络管理器 27 可以鉴于每个网络设备处的通信要求定义一组链路。然后,每个网络设备可以被配置以所定义的该组链路。所定义的该组链路可以确定该网络设备何时需要醒来,以及该网络设备是否应该在醒来后即进行发送、接收或同时发送/接收。

[0060] 继续参照图 2,无线 HART 协议 70 的传输层 80 允许有效的尽力而为的通信和可靠的、端到端确认式通信。如本领域技术人员将会认识到的,尽力而为的通信允许设备发送包而不进行端到端的确认,并且不保证目的设备处的数据顺序。用户数据报协议(UDP)是这种通信策略的一个众所周知的实例。在过程控制行业中,该方法可以对公布过程数据是有用的。具体来说,因为设备周期性地传播过程数据,所以端到端确认和重试已经限制了效用,特别是考虑到新数据是在定期的基础上产生的。相反,可靠的通信允许设备发送确认包。除了保证数据传递,传输层 80 还可以安排网络设备间发送的包。对于请求/响应业务,或者当发送事件通知时,这种方法可以是优选的。当使用传输层 80 的可靠模式时,通信可以变得同步。

[0061] 可靠的事务可以被建模为发出请求包的主设备和用响应包进行回复的一个或多个从设备。例如,主设备可以产生某一请求并且可以将该请求广播到整个网络。在某些实施例中,网络管理器 27 可以使用可靠的广播来告诉无线 HART 网络 14 中的每个网络设备激活新的超帧。可替代地,诸如传感器 30 之类的现场设备可以产生包并且将该请求传播到另一现场设备,例如传播到便携式 HART 通信装置 55。作为另一实例,由现场设备 34 产生的警



报或事件可以作为指向网关设备 22 的请求被发送。响应于成功接收到该请求,网关设备 22 可以产生响应包并且将该响应包发送到设备 34,以对接收到该警报或事件通知进行确认。

[0062] 再参见图 2,会话层 82 可以提供网络设备之间的基于会话的通信。可以用会话在该网络层上管理端到端通信。网络设备可以具有为给定对等网络设备定义的多于一个会话。如果需要的话,几乎所有网络设备都可以具有至少两个与网络管理器 27 建立的会话:一个用于成对通信,一个用于从网络管理器 27 进行的网络广播通信。另外,所有网络设备都可以具有网关会话密钥。这些会话可以通过指派给它们的网络设备地址来区分。每个网络设备可以跟踪该设备参与的每个会话的安全信息(加密密钥、临时计数器)以及传输信息(可靠传输顺序号、重试计数器等)。

[0063] 最后,无线 HART 协议 70 和有线 HART 协议 72 可以支持公共 HART 应用层 84。无线 HART 协议 70 的应用层可以另外包括子层 86,其支持大数据组的自动分段传输。通过共享应用层 84,协议 70 和 72 允许对 HART 命令和数据进行公共封装并且消除了协议栈的最上层中进行协议转换的需要。

[0064] 图 3-6 提供了由无线 HART 协议 70 的数据链路层 76 和网络层 78 支持的信道和时隙资源分配的更详细的图示。如以上参照图 1 所讨论的,网络管理器 27 可以管理一个或更多超帧的定义并且可以将所定义的超帧中的每一个超帧内的独立的时隙与可用信道(例如,载波频率)之一相关联。作为一个具体的实例,图 3 示出了在独立的时隙内的可用通信方案,而图 4 示出了使用某一超帧的时隙在若干设备之间进行的示例性数据交换。接下来,图 5 示出示例性时隙和若干可用信道之间的可能关联,并且图 6 是包括图 3-5 示出的时隙的若干个并发超帧的示意图。

[0065] 具体参见图 3,两个或更多网络设备可以在时隙 100 中交换数据,时隙 100 可以由一个发送设备和一个接收设备共享的专用时隙,也可以是具有超过一个发射机和 / 或一个或更多接收机的共享时隙。在任一情况下,时隙 100 可以具有发送调度表 102 和接收调度表 104。换句话说,一个或更多发送设备可以根据发送时隙调度表 102 在时隙 100 内进行通信,而一个或更多接收设备可以根据接收时隙调度表 104 在时隙 100 内进行通信。当然,时隙调度表 102 和 104 实质上精确地同步并且在同一相对时刻 106 开始。在时隙 100 的过程中,发送网络设备在诸如载波无线电频率之类的通信信道上发送预定量的数据。在某些情况下,发送网络设备还可以期望在同一时隙 100 内接收肯定或否定的确认。

[0066] 因此,如图 3 中示出的,发送时隙调度表 102 可以包括用于发送输出数据的发送段 110,其之前有预发送段 112,并且可以包括用于接收对在段 110 期间所发送的数据的确认的接收段 122。发送段 110 与接收段 122 可以通过过渡段 116 分隔开,在过渡段 116 期间,相应的网络设备可以调整例如硬件设置。同时,如下所讨论的,接收调度表 104 可以包括用于执行补充段 112-122 中所实施的功能的段的段。

[0067] 具体来说,该发送设备可以在段 110 期间发出与时隙 100 的容量相关联的整个包或者流段。如以上所提及的,网络调度表 69 可以包括共享时隙,该共享时隙并不专门属于网络设备 25A-B 和 30-55 之一的独立设备调度表 67。例如,共享时隙可以具有诸如网关 22 之类的专用接收机,而非单个专用发射机。当必要时,网络设备 25A-60 之一可以在共享时隙中发送诸如对额外带宽的请求之类的未经调度的信息。在这些情况下,可能发送的设备可以通过在预发送段 112 执行空闲信道评估(CCA)来检查共享时隙是否可用。具体来说,

发送网络设备可以在预发送段 112 期间侦听与时隙 100 相关联的通信信道上传播的信号,以证实没有其它网络设备正尝试使用时隙 100。

[0068] 在时隙 100 的接收端,该接收设备可以在包接收段 114 内接收与时隙 100 相关联的整个包。如图 3 示出的,包接收段 114 可以开始于在时间上比发送段 110 更早的点。接下来,在过渡段 116 中,发送时隙调度表 102 要求发送设备转换无线电模式。类似地,接收时隙调度表 104 包括过渡段 118。然而,段 116 可以比段 118 更短,因为发送设备可以提早开始侦听确认数据以避免错过确认的开始。

[0069] 更进一步,发送调度表 102 可以包括确认接收段 122,在确认接收段 122 期间,该发送设备接收在与接收调度表 104 相关联的确认发送段 124 期间发送的确认。该发送设备可以在接收到肯定的确认时,从相关联的发送队列中删去在发送段 110 期间发送的包。另一方面,如果没有确认到达或确认是否定的,则该发送设备可以尝试在下一被调度的专用时隙或在下一可用的共享时隙中重新发送该包。

[0070] 如在图 4 中示意性示出的,以上讨论的若干时隙 100 可以组织成超帧 140。具体来说,超帧 140 可以包括(通常)无限的成串超帧循环 150-154,每个循环包括一组时隙,在图 4 中示出为相对时隙号为 0 的时隙 142(TS0)、相对时隙号为 1 的时隙 144(TS1) 和相对时隙号为 2 的时隙 146(TS2)。相应地,图 4 的超帧 140 的大小为三个时隙。换句话说,超帧 140 的时隙 142-146 中的每一个每隔两个中间时隙在时间上重复一次。因此,对于 10 毫秒的时隙,具有特定相对时隙号的时隙的结尾和具有相同的相对时隙号的下一个时隙的开始之间的间隔是 20 毫秒。在概念上,时隙 142-146 可以进一步被组成超帧循环 150-154。如图 4 中示出的,每个超帧循环对应于时隙 142-146 的序列的新例子。

[0071] 主网络调度表 67 可以将参与无线网络 14 的网络设备中的一些网络设备的发送和接收时机与超帧 140 的特定时间隙相关联。再参见图 4,网络片段 160 示意性地示出了在图 1 的网络设备 34、60 和 36 之间实施的局部通信方案。为了简化超帧 140 的图示,网络设备 34、60 和 36 在图 4 中分别被另外设计为节点 A、B、C。因此,根据图 4,节点 A 发送数据给节点 B,节点 B 接下来发送数据给节点 C。如以上所述,节点 A-C 中的每一个节点包括设备调度表 69A-C,其指定用于在相应的设备处发送和接收数据时隙和信道(例如无线电载波频率)。主网络调度表 67 可以包括独立的设备调度表 69A-C 中存储的所有数据信息中的一部分。更为具体地,网络管理器 27 可以维护主网络调度表 67 作为与网络设备 25A-B 和 30-50 中的每一个相关联的调度的集合体,包括设备调度表 69A-C。

[0072] 在这个实例中,时隙 100(图 3)的持续时间可以是 10 毫秒,并且网络设备 A 可以每 30 毫秒向设备 C 报告一次数据。相应地,网络管理器 27 可以鉴于网络设备 A 的更新速率在三个时隙处具体设定超帧 140 的长度。进一步,网络管理器 27 可以将相对号为 0 的时隙 142(TS0) 指派给网络设备 A 和 B,设备 A 作为发射机而设备 B 作为接收机。网络管理器 27 可以进一步将相对时隙号为 1(TS1) 的下一个可用时隙 144 分配为与从设备 B 到设备 C 的发送相关联。同时,时隙 146 保持未指派。在这种方式下,超帧 140 提供了一方案,根据该方案,网络管理器 27 可以鉴于设备 A、B 和 C 之间的可用无线连接在网络片段 160 中分配资源,以将数据从设备 A 发送到设备 C。

[0073] 在图 4 中示出的实例中,节点 A 处的网络设备可存储与时隙 142 相关的信息作为它的设备调度表 69A 的一部分。类似地,在节点 B 处的网络设备可以存储与时隙 142(接

收)和 144(发送)相关的信息作为它的设备调度表 69B 的一部分。最后,网络设备 C 可以将与时隙 144 相关的信息存储在设备调度表 69C 中。在这些实施例的至少一些实施例中,网络管理器 27 存储关于整个超帧 140 的信息,包括时隙 146 是可用的指示。

[0074] 重要的是,超帧 140 不需要局限于单个无线电频率或其它单个通信信道。换句话说,定义超帧 140 的独立时隙 142-146 可以以永久性或浮动为基础与不同的无线电频率相关联。而且,由各种设备使用的频率在电磁频谱中不需要总是相邻接。在一个实施例中,例如,超帧循环 150-154 中的每一个超帧循环的时隙 142 可以与载波频率  $F_1$  相关联,而超帧循环 150-154 中的每一个超帧循环的时隙 144 可以与载波频率  $F_2$  相关联,频率  $F_1$  和  $F_2$  在电磁频谱中相邻接或不相邻接。

[0075] 在另一实施例中,时隙 142-146 中的至少一些时隙可以以预定义的方式在被分配的频带周围移动。图 5 示出了图 4 的时隙 144 与可用频带 170 中的信道 172-179 之间的示例性关联(对应于频率子带  $F_1-F_5$ )。具体来说,信道 172-179 中的每一个信道可以对应于中心频率  $F_1, F_2, \dots, F_5$  之一,优选地,这些中心频率与它们各自的邻居相差同一偏移量。优选地,信道 172-179 形成覆盖整个可用频带 170 的连续频段,虽然在所有实施例中,信道 172-179 需要是邻接的或形成连接续的频带。超帧 140 可以使用频带 170 的至少一部分,以便时隙 142-146 中的一个或更多时隙在至少两个邻接的循环中被调度到不同的载波频率上。

[0076] 如图 5 中示出的,在帧循环 150 期间,时隙 144 可以使用信道 176(频率  $F_3$ ),在帧循环 152 期间,可以使用信道 174(频率  $F_4$ ),并且在帧循环 154 期间,可以使用信道 178(频率  $F_2$ )。然后,时隙 144 可以在与循环 150 类似的下一超帧循环 150A 中“返回”到信道 176。时隙 144 与信道 172-179 之一的具体关联中的每一个被示出为时隙/信道元组 144A-C。例如,元组 144A 将循环 150 中被调度的时隙 2 指定在与中心频率  $F_3$  相关联的信道 176 上。类似地,元组 144B 将循环 152 中被调度的时隙 2 指定在与中心频率  $F_4$  相关联的信道 174 上。同时,与中心频率  $F_5$  相关联的信道 172 可以在循环 150-152 中的任何循环期间不指派给时隙 2。然而,超帧 140 的不同时隙,例如时隙 146,可以在循环 150-152 中的一个或更多期间与信道 172 相关联。

[0077] 在这个实例中,与超帧循环 150 相关联的频率指派可以在循环 154 之后立即重复(如图 5 中示出为循环 150A),并且,在超帧 140 的两个循环之后,时隙 144 可以再次对应于元组 144A。这样,时隙 144 可以定期循环通过信道 176、174 和 178。将会理解的是,时隙 144 可以类似地循环通过更大或更小数目的信道,而不管超帧 140 的长度,当然,前提是在频带 170 中有足够的信道可用。以上关于图 5 讨论的并被称为“信道跳频”的不同超帧循环期间的单个时隙与多个信道之间的关联大大增加了无线网络 14 的可靠性。具体来说,信道跳频减少信道跳频降低了被调度在某一超帧的特定时间隙中通信的一对设备在某一信道拥塞或不可用时不能发送和接收数据的概率。因此,例如,信道 174 的故障阻止使用时隙 144 的设备在帧循环 152 中通信,而不阻止其在帧循环 150 或 154 期间通信。

[0078] 再参见图 4,设备调度表 69B 和 69C 可以包括关于在以上参照图 5 讨论的元组 144A-C 中的每一个元组的信息。具体来说,设备调度表 69B 和 69C 中的每一个设备调度表可以存储循环 150-152 中的每一个循环内给信道 172-179 之一的时隙 144 指派。主网络调度表 67(图 1)可以类似地包括该信息。同时,设备调度表 69A 不需要必需包括与时隙 144 相关的信息,因为相应的节点 A(设备 34)在超帧 140 的时隙 144 期间不进行通信。在运行

中,与节点 B 和 C 对应的设备 60 和 36 可以在每个时隙 144 的开始时分别准备数据发送和接收。为了确定时隙 144 当前对应于元组 144A、144B 还是 144C,设备 60 和 36 可以应用 ASN 计数器 68 的本地存储副本以确定时隙 144 当前是在帧循环 150、152 还是 154 中。

[0079] 在定义网络调度表 69 的过程中,网络管理器 27 可以鉴于网络设备 25A-B 和 35-50 的更新速率定义多个并发超帧。如图 6 中示出的,网络调度表 69 可以包括长度为 3 的超帧 140 以及超帧 190 和 192。超帧 190 可以是五隙超帧,而超帧 192 可以是四隙超帧,虽然不同的超帧可以具有不同的隙数并且各种不同的超帧可以具有相同的隙数。如图 6 中示出的,这些超帧不需要必须针对相对时隙号进行对齐。具体来说,在特定时刻 194,超帧 190 可以调度相对号为 2 的时隙 (TS2),而超帧 140 和 192 可以调度具有相对号为 1 的时隙 (TS1)。优选地,超帧 140、190 和 192 是时间同步的,以便在这些超帧的每一个超帧内,每个到新时隙的过渡同时发生。

[0080] 超帧 140、190 和 192 中的每一个超帧可以主要与网络设备 25A-B 和 30-50 中的独立网络设备或网络设备 25A-B 和 30-50 的子集相关联,或者属于独立网络设备或网络设备 25A-B 和 30-50 的子集。例如,在图 4 中示出的超帧 140 可以属于节点 A (即网络设备 34),并且可以有利地选择超帧 140 的长度,以便在循环 150-154 中的每一个循环期间,节点 A 在时隙 142 (TS0) 期间发出测量数据到节点 B。如果无线网络 14 定义了 10 毫秒时隙,则节点 A 每 30 秒发送数据到节点 B 一次。然而,如果节点 A 被重新配置为每 50 毫秒报告测量值一次,网络管理器 27 独自,或与节点 A 一道,可以将帧 140 重新配置为具有五个时隙的长度。换句话说,每个超帧的长度可以反映特定网络设备 25A-B 或 30-50 的特定发送要求。

[0081] 另一方面,超过一个的网络设备 25A-B 或 30-50 可以使用用于发送和接收数据的超帧。再次参见图 4,虽然超帧 140 可以主要与节点 A 相关联,但是节点 B (网络设备 60) 也可以在超帧 140 的时隙 144 中定期发送数据到节点 C (网络设备 36)。因此,特定超帧的不同时隙可以被不同的网络设备用来发起、路由或接收数据。在某种意义上,每个超帧的时隙可以被理解为分配给不同设备的资源,并把特定的优先级指派给拥有该超帧的设备。此外,将会理解的是,每个网络设备可以参与多个超帧。例如,图 4 中的网络设备 34 除了由路由设备 60 进行传播它自己的数据之外,还可以代表其它网络设备 (例如,在图 1 中示出的网络设备 32) 路由数据。优选地,参与多个超帧的设备并不在不同超帧中调度同时发生的通信。尽管在图 6 中示出了仅仅三个超帧,但是图 1 的无线网络 14 可以包括任何数目的超帧,这些不同超帧中的每一个超帧基于在特定的设备和设备组之间或之中执行的通信的类型和频率而具有任何想要的或有用的长度。

[0082] 如以上所指示的,ASN 计数器 68 (见图 1) 可以反映自从无线网络 14 激活以来被连续调度的时隙的总数。换句话说,只有那些跟随另一时隙之后发生的时隙影响 ASN 计数,而被并发调度的超帧数对 ASN 值没有影响。为了进一步概述 ASN 计数器 68 的操作,图 7 示出了包括在网络启动时刻 260 或在网络启动时刻 260 之后创建的若干个并发超帧 252-256 的调度表 250。超帧 252 可以是四时隙超帧,在该四时隙超帧中相对时隙数从 0 迭代到 3。类似地,超帧 254 可以类似地在网络启动时刻 260 启动,但是包括编号为 0 到 7 的八个时隙。另一方面,之后在新网络设备加入无线网络 14 时,或者在网络管理器 27 为了特别的目的例如为了适应块模式传输而分配临时性资源时,可以创建超帧 256。在网络调度表 250 运行期间,网络管理器 27 可以指派给 ASN 计数器 68 的值通常用序列 270 表示。将会注意到的是,

ASN 计数器 68 的值随着每个新时隙而增加,而与该时隙相关联的超帧无关。

[0083] 再参见图 1,网络设备 25A-B 和 30-50 中的每一个可以维护 ASN 计数器 68 的本地副本。在无线网络 14 运行期间,网关设备 22 可以将 ASN 计数器 68 的当前值传播到每个网络设备 25A-B 或 30-50 以用于网络同步。然后,每个网络设备 25A-B 或 30-50 可以将 ASN 计数器的本地副本与在网关设备 22 所发送的数据包中报告的值相比较,并且如果需要的话,更新该本地副本,以与根据该消息的传播延迟而调整的 ASN 计数器的值相匹配。例如,网络调度表 67 可以指定网络节点 32 在网关设备 22 向邻居设备发送包的时隙之后的第三时隙中,接收由网关设备 22 发起的并且与特定的超帧相关联的某一类型的数据包。相应地,网络节点 32 可以检查由网络节点 32 存储的当前 ASN 值是否确实是包括在该数据包中的 ASN 的值加上 3(即自从网关设备 22 发出该数据包以来被调度的时隙的数目)。

[0084] 将会进一步注意到的是,通过沿多条路径将 ASN 信息传播到每个网络设备 25A-B 和 30-50(图 1),无线网络 14 确保当直接无线连接 65 中的一些直接无线连接遇到障碍物或因为其它原因失效时,网络设备 25A-B 和 30-50 通常至少还有一次对同步信息的访问权限,从而增加无线网络 14 的稳定性并提高它的总体恢复力。

[0085] 作为补充或可替代地,网络设备 25A-B 和 30-50 也使用包括在数据包中的 ASN 值来确定该数据包的寿命。例如,目的网络节点可以接收数据包、从该 ASN 值的本地副本减去在发起网络节点处插入该数据包中的 ASN、并且通过将时隙数之差乘以单个时隙的持续时间来计算该数据包的寿命。将会注意到的是,依赖于包括在数据包中的该 ASN 值,无线网络 14 可以实施存活时间(TTL)要求、执行网络诊断、收集传递延迟统计值等等。

[0086] 在某些实施例中,邻居设备对之间的每条消息都可以在网络协议数据单元(NPDU)中包括该 ASN 值。如果无线网络 14 使用图 2 中示意性地示出的无线 HART 协议 70,与层 78 相关联的每个帧可以包括该 ASN 值以确保共享直接无线连接 65 的邻居被适当地同步。在一个特定的实施例中,每个网络设备 25A-B 或 30-50 可以在 NPDU 帧中仅仅包括该 ASN 值的一部分以减少在该网络层协议的层级上发送的数据的量。更为具体地,无线网络 14 可以维护 32 位 ASN 值,但是相应的 ASN 片断可以仅仅包括该 ASN 值的低 16 位。将会理解的是,因为典型的消息是在数秒或甚至数毫秒内被传递的,所以该 ASN 值的若干个低位可以足以测量该 TTL 值。当然,其它实施例可以使用甚至更小的片断。

[0087] 进一步,网络设备 25A-B 和 30-50 可以使用该 ASN 值来确定特定超帧中的当前时隙。在某些实施例中,这些设备可以应用下列函数以计算超帧内的相对时隙:

[0088] 相对时隙数 =  $ASN \% (\text{该超帧的长度})$

[0089] 其中符号“%”表示模数除法函数。网络设备 25A-B 或 30-50 可以使用该公式来构造将要在相关超帧中发生的时隙的有序列表。将会注意到的是,在某些实施例中,每个一定长度的新帧可以在使在该时刻和该网络的开始时刻之间与整数个这种长度的超帧相配的时刻开始。例如,再参见图 7,超帧 256 可以具有八个时隙,并且可以相应地启动时隙 0, 8, 16, ..., 8n, 其中 n 是整数。在其它实施例中,新超帧可能不在等于该超帧长度的倍数的 ASN 值处开始,并且正在加入的设备可能将应用以上公式得到的结果加上一附加偏移量。

[0090] 在另一实施例中,尝试加入无线网络 14 的那些设备可使用该 ASN 值以适当地与活跃网络调度表 67 同步。具体来说,每个有效的网络设备 25A-B 和 30-50 可以周期性地发出广告包,这些设备的潜在新邻居可以处理这些广告包以确定正在加入的设备和这些广告设

备中的一个或更多广告设备之间是否可以形成一个或更多新直接无线连接 65。除了估计与每个广告（潜在）邻居相关联的信号强度，可选地，和信号的质量，该正在加入的设备在处理广告包时可以考虑许多其它因素。例如，每个广告包可以包括网络标识字段，该正在加入的设备可以将该网络标识字段与该正在加入的设备先前已经配备有的网络标识相比较。如果若干个类似的无线网络 14 在彼此相隔较近的距离内运行或者如果这些网络所覆盖的地理区域之间有些重叠，则该过程可以确保该正在加入的设备加入正确的网络。

[0091] 参见图 8，状态图 300 示出在正在加入无线网络 14 的设备的运行中有代表性的状态中的一些状态。在状态 302 中，该正在加入的设备可通过侦听广告包搜索潜在的邻居。在这些实施例中的至少一些实施例中，该正在加入的设备可能仍然不知道网络调度表 67 或甚至网络调度表 67 的相关部分，但是可能知道无线网络 14 所运行在的信道中的至少一些信道（例如，一组载波无线电频率）。在其它实施例中，如以上所讨论的，该正在加入的设备可能没有被提供任何具体的信道信息，而是可能仅仅存储网络标识。在这些情况下，该正在加入的设备可能最初将无线电频谱的整个无许可证的部分视为包括无线网络 14 的潜在通信信道。当搜索广告包时，该正在加入的设备可将其收发器运行于接收模式下，并且根据任何合适的算法扫描潜在信道中的每一个以寻找广告包。例如，该正在加入的设备在转换到相邻信道之前可对每个潜在信道侦听若干秒。作为替代，该正在加入的设备可在每个时隙之后转换到该相邻信道。

[0092] 状态机 300 可保持在状态 302，直到该正在加入的设备接收到广告包为止。接下来，该正在加入的设备可在状态 304 处理接收到的广告包。如果例如与该广告包的接收相关联的载波信号的强度和 / 或质量低于预定义的阈值，则该正在加入的设备可返回到状态 302 并且等待来自其它潜在邻居的广告包。作为替代，该正在加入的设备可不实施绝对阈值，而是可仅仅评估每个潜在直接连接 65 的相对强度。另一方面，如果该信号是可接受的，则该正在加入的设备可转换到同步状态 306。

[0093] 在状态 306，该正在加入设备可从该广告包提取该 ASN 值并且更新该 ASN 计数的本地副本。在某些实施例中，该正在加入的设备可转换回状态 304 以收集另外的广告包并且收集与各种潜在邻居报告的 ASN 值相关的统计值。在一个这样的实施例中，该正在加入的设备可接收若干种数据包，这些数据包中的一些可包括 ASN 时间戳，即存储在源网络设备发起相应的数据包的时刻所记录的 ASN 值的字段。除了处理在接收到的数据包中报告的 ASN 值之外，该正在加入的设备可使用这些数据包来调节时隙的时序（例如，开始时刻、结束时刻等等）。如上所讨论的，该正在加入的设备接着可使用该 ASN 值来确定在网络调度表 67 的一个或更多超帧中的相对隙数。因此，当该正在加入的设备接收到关于可用超帧的信息时，该正在加入的设备可通过应用上述公式快速确定相关的相对隙数，该正在加入的设备可在所述可用超帧中发送和接收作为加入和 / 或鉴权序列的一部分的数据。

[0094] 在完成了同步时，在状态 308，该正在加入的设备可开始协商准许进入无线网络 14。将注意到的是，该正在加入的设备可进一步转换通过若干个另外的状态以完成鉴权、协商带宽分配、从网络管理器 27 接收路由信息、获得对管理超帧的调度等等。

[0095] 根据另一方面，网络设备 30-50 中的一些可依赖于该 ASN 值以在休眠期之后进行快速重新同步。通常，尽管网络设备可与该网络断开并通过从潜在邻居接收广告信息并接受邀请的完整过程而再次连接，但是在某些情况下可能期望避免将网络设备与无线网络 14

断开,而是使该网络设备维持在休眠状态。例如,设备 30 可能很少收集测量值并且因此可能具有很低的更新速率。而且,该网络设备可能不是这些网络设备中的任何网络设备的中间跳(即,该设备可能没有被指定为该设备的任何邻居的任何图上的下一个节点),并且因此可能不是数据交换中的活跃参与者。在这种情况下,网络设备 30 可被网络管理器 27 或管理者手动地配置,以请求用于公布过程数据的长超帧。

[0096] 在网络设备 30 没有进行通信的长的间隔期间,网络设备 30 可进入睡眠模式以节约电池的寿命。网络设备 30 可以在接下来被调度的通信时间之前立即醒来,侦听网络业务以与该网络进行重新同步并获得当前的绝对隙数。其后,该网络设备 14 可等待当前超帧中的恰当相对隙,在适当的时间(即在被调度的相对隙数期间)执行被调度的通信,并返回到休眠状态。重要的是,网络设备 30 可因此避免离开和加入无线网络 14 的时间和资源密集型过程。相反,网络设备 14 可通过按照与所请求的超帧的大小相对应的时段醒来有效地进行重新连接,并且在时间上与该网络进行重新同步以在该网络设备 14 处进行接下来被调度的通信。除了节省电力,网络设备 15 可因此降低发送的速率并最小化非必要的网络业务量。

[0097] 作为补充,在尝试访问共享资源时,网络设备 25A-B 和 30-50 可使用 ASN 信息来解决冲突。具体来说,多个设备有时可共享某一链路资源(即在特定直接无线连接 65 上出现的特定超帧的时隙),并且可能相应地需要当这些设备中的两个或更多尝试同时在该共享链路上进行发送时解决冲突的方法。通常,无线网络 14 可以以类似于众所周知的时隙式阿罗哈算法的方式管理共享链路,并且网络设备 25A-B 和 30-50 可使用具有指数后退(exponential backoff)的冲突避免方案。然而,该后退可以用以整数个时隙而非传统的时间单位测得的延迟来实现。因此,网络设备 25A-B 或 30-50 可后退一个时隙、两个时隙、四个时隙等等。通过将后退间隔与时隙进行同步,网络设备 25A-B 或 30-50 可优化重试机制并且确保重试尝试仅仅在存在实际的发送可能时才发生。同时,当网络设备 25A-B 或 30-50 中的一些的带宽要求低时或当业务无规律时,可能期望使用共享链路。在许多情况下,使用共享链路可减少等待时间,因为某个网络设备 25A-B 或 30-50 不需要等待专用链路,而是相反可尝试预留下一条可用的共享链路。

[0098] 根据另一方面,无线网络 14 可为网络设备 30-50 提供同步校正,以便每个网络设备可适当地识别每个时隙的开始。具体来说,网络设备 30-50 可注意数据链路协议数据单元(DLPDU)的到达,并且基于 DLPDU 中包括的信息,计算到达时刻和网络设备 30-50 期望看到 DLPDU 的到达的“理想”时刻之差  $\Delta t$ 。更为精确地,网络设备 30-50 可将到达时刻与建立 DLPDU 帧的完整开始定界符进行关联。该开始定界符可以是例如预定义的位序列。在某些实施例中,网络设备 30-50 可在回复从对等设备接收的 DLPDU 时发送的每个 ACK 或 NACK 中报告计算的  $\Delta t$  值。当然  $\Delta t$  值可正可负。以这种方式,无线网络 14 中的每个通信事务可测量网络设备 30-50 之间的网络时间的对齐,从而大大提高这些网络设备 30-50 适当地保持网络时间的能力。在某些实施例中,时间同步根据哪个设备发起该事务,可以要么基于 DLPDU 的到达时间要么基于肯定或否定的数据链路层确认(ACK/NACK)中的  $\Delta t$ 。

[0099] 在一个实施例中,网络管理器 27 可为每个网络设备 30-50 指定某些邻居作为时间同步源。如果例如网络设备 50、30 和 34 是网络设备 32 的邻居,则网络管理器 27 可将网络设备 30 指定为网络设备 32 的同步源之一。在运行中,当网络设备 32 从网络设备 30 接收

DLPDU时,网络设备 32 可调节该本地网络时间。更为具体地,被指定为时间同步源的设备可计算  $\Delta t$  值并且在到依赖于该时间同步源设备的设备的数据包中(例如在确认 DLPDU 中)包括计算出的  $\Delta t$  值。然后,该时间相关设备可根据该时间同步源报告的  $\Delta t$  调节本地时间。该  $\Delta t$  值可用微秒进行测量,虽然也预期了到其它标度(例如纳秒、秒)。而且,将会注意到,网络设备 30 可能不一定鉴于来自网络设备 30 的 DLPDU 来调节该本地网络时间。换句话说,网络设备 30 和 32 之间关于时间调节的关系不一定是对称的。

[0100] 通常,设备设计人员应该理解它们的产品的时间漂移特性。因此,万一网络设备的时间源开始漂移,该网络设备可按照需要发送一个或更多保持有效 DLPDU 给时间同步邻居以确保时间同步被适当地维持。根据另一方面,保持有效 DLPDU 也可用于邻居发现和确认静止链路的寿命。

[0101] 关于选择时间源,预期了若干种方法。例如,网络管理器 27 可定义用于从网关 22 向外到无线网络 14 的终端网络设备的时间传播的路径。相反地,网络管理器 27 可在相反的方向上指挥时间同步。在任一情况下,网络管理器 27 可沿同步链指挥时间传播以便避免形成闭合回路。举一个具体的实例,网络管理器 27 可将一个时间源传播路径定义为在网关设备 22 处发起,通过网络接入点 25A 进行传播,进一步传播到网络设备 32、网络设备 60 并最终到网络设备 34。因此,网络接入点 25A 可用作网络设备 32 的直接同步源并且作为网络设备 60 和 34 的间接同步源。在这个实例中,网络设备 60 可具有好几个邻居(例如网络设备 36 等等),但可仅用网络设备 32 进行时间同步。另一方面,网络设备 32 可能不“信任”网络设备 60 的时序,可改为听从网络接入点 25A。

[0102] 根据以上所述,将会理解的是,网络设备 30-50 可通过发送 DSDPU 和确认来保持网络时间同步,并且通过这么做,网络设备 30-50 还可跟踪整个无线网络 14 上的绝对数。所有通信被调度为在超帧内在超帧内的具体时隙期间发生。所有设备必须支持多个超帧,并且具体的超帧具有一条或更多链路。这些链路指定传递或接受包所需的隙和相关联的信息。

[0103] 尽管上述内容详细说明了多个不同的实施例,应该理解本发明的范围由本专利的末尾处提出的权利要求书中的语句来限定。因为说明每一种可能的实施例即使不是不可能的,也是不切实际的,所以上述详细说明应该被解释为仅用于说明目的,但并没有说明每一种可能的实施例。许多可替代实施例可以用当前的技术或本专利的申请日之后开发的技术来实施,这将仍然落入这些权利要求的范围内。



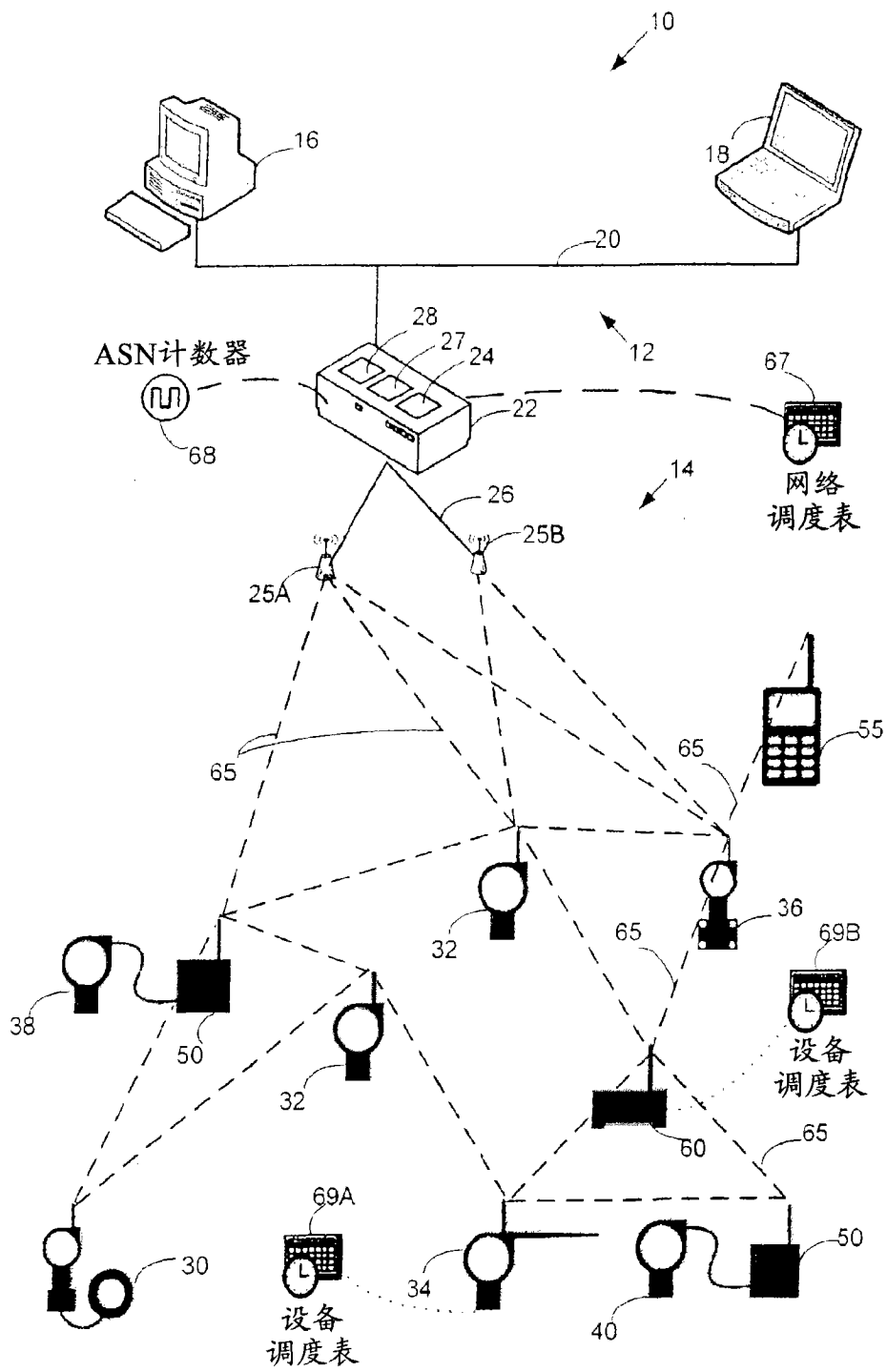


图 1

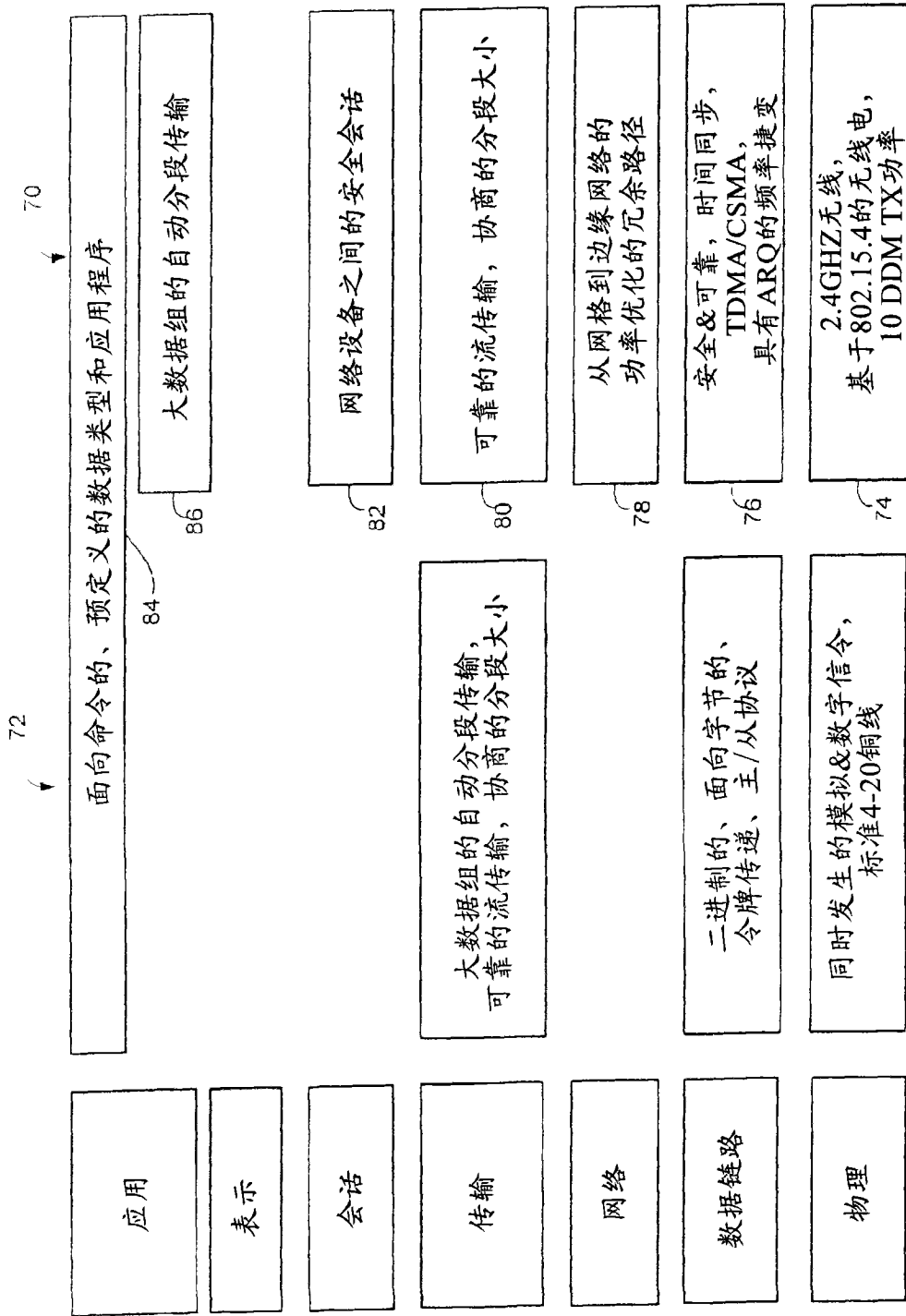


图 2

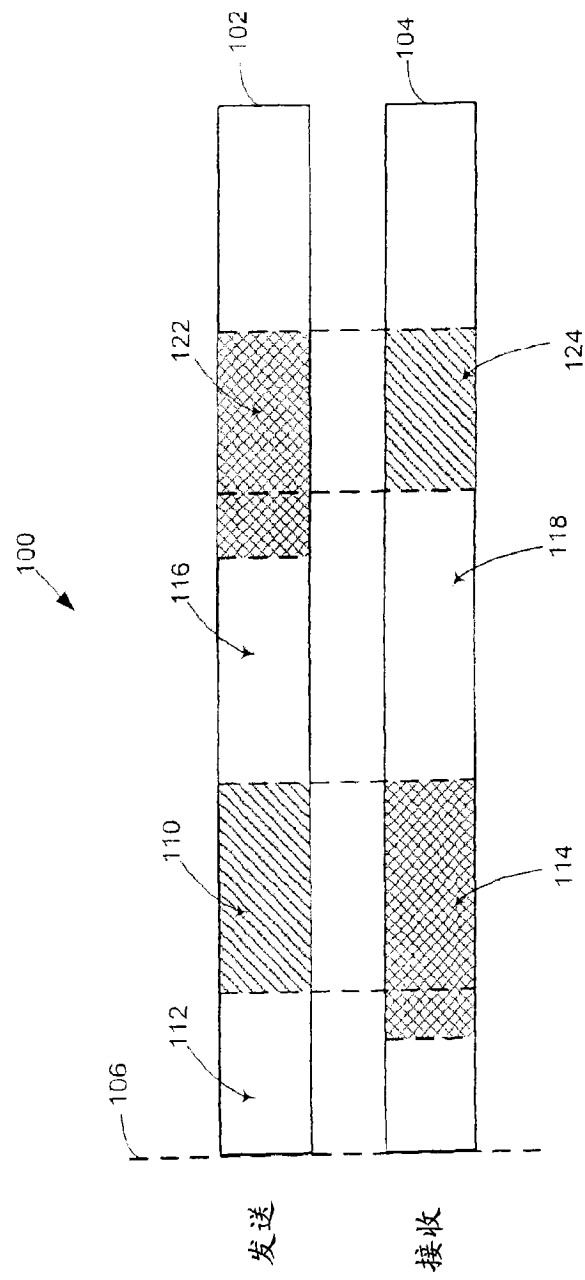


图 3

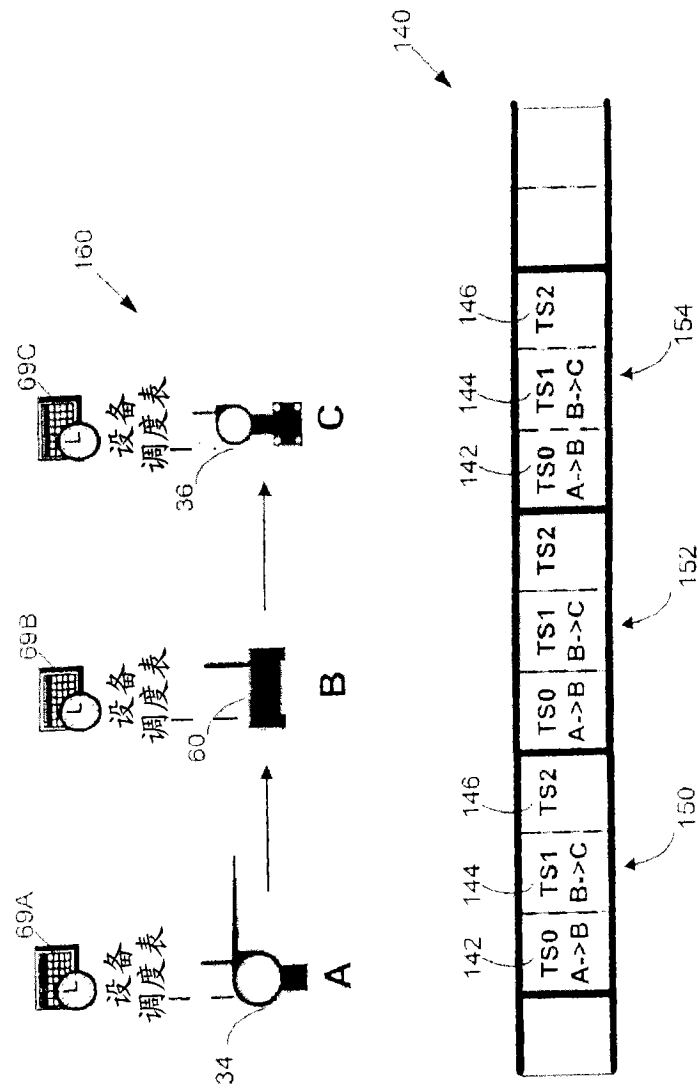


图 4

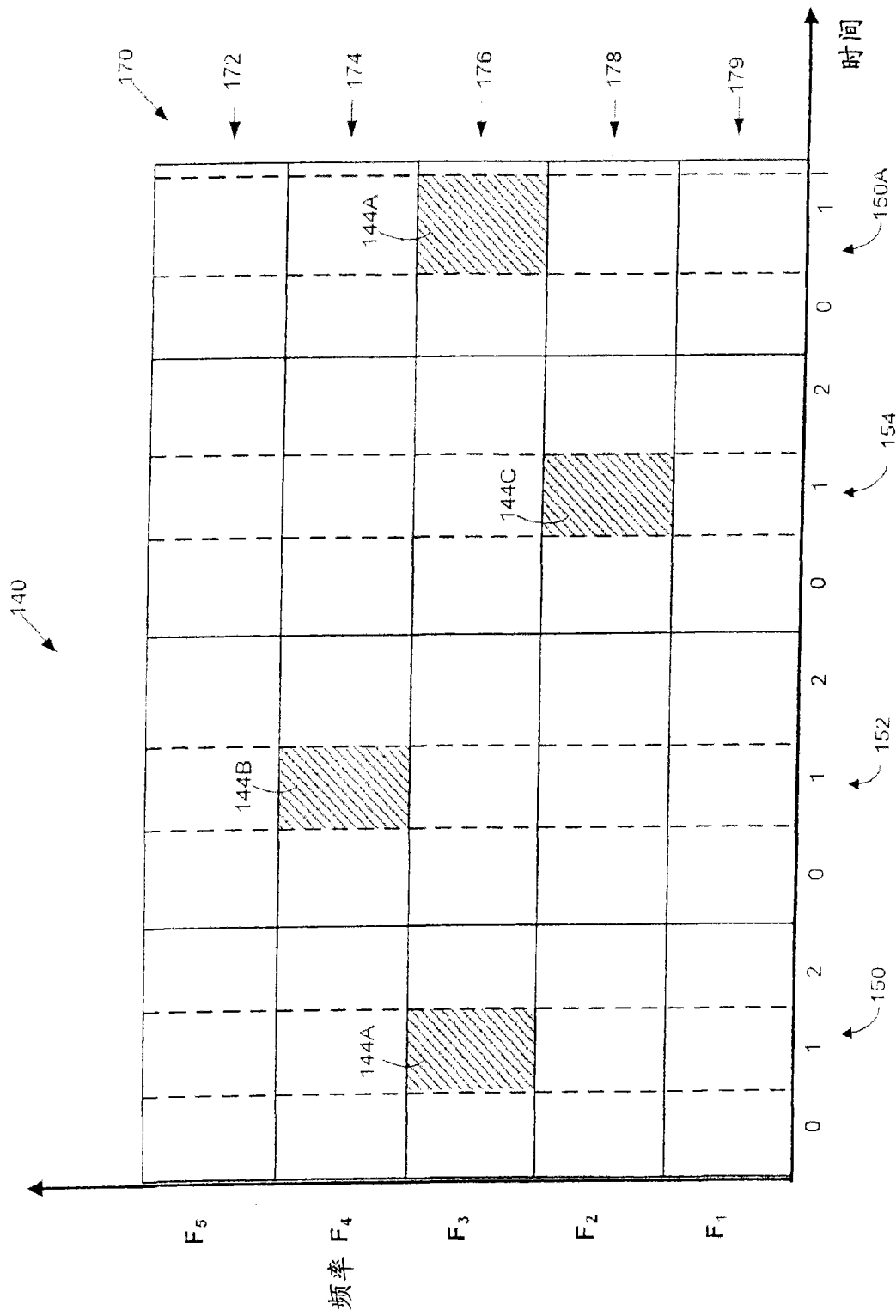


图 5

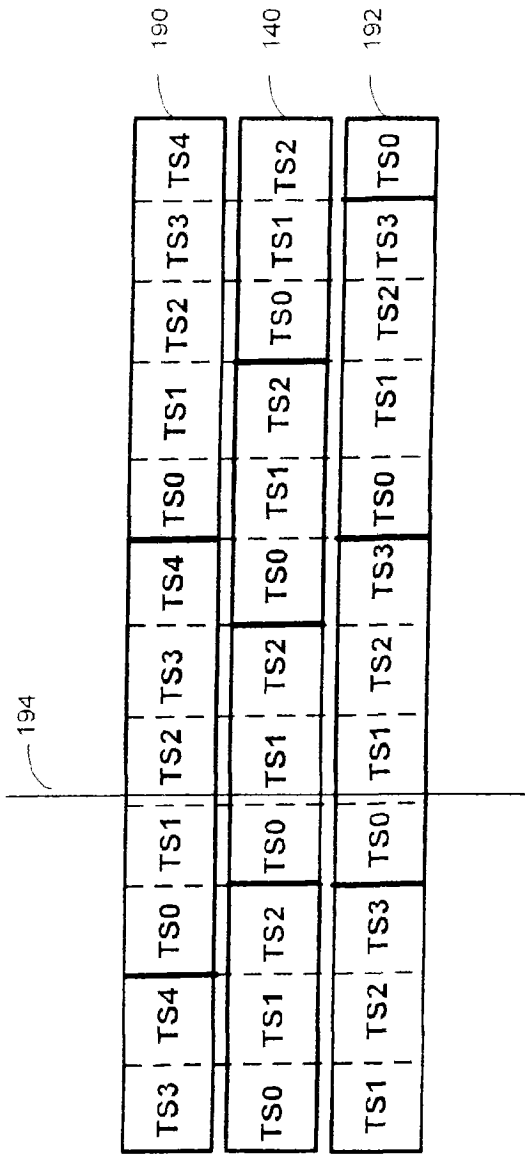


图 6

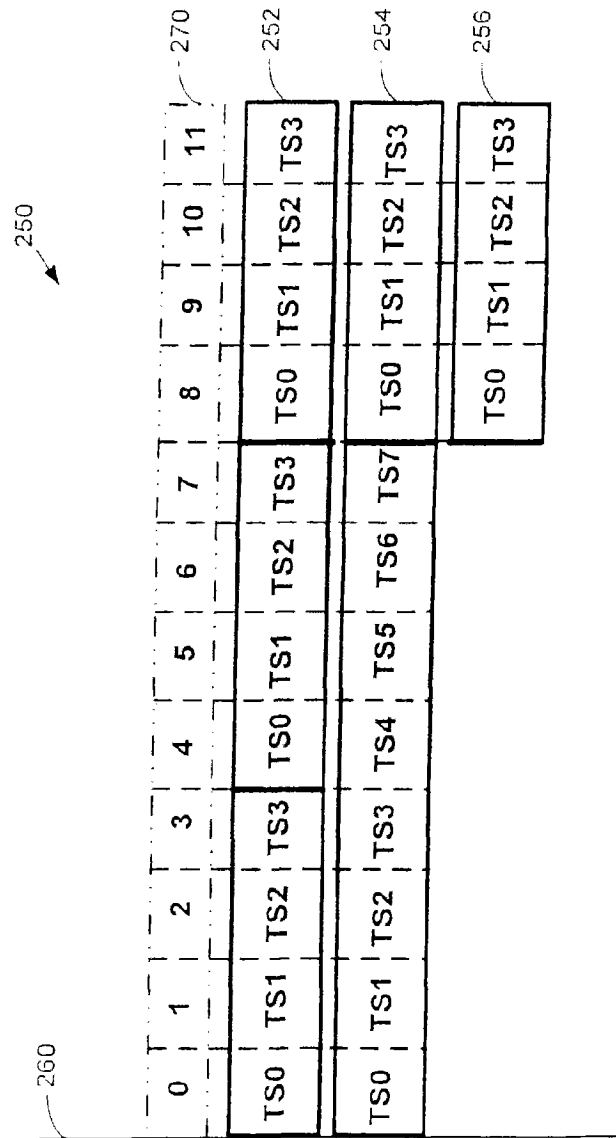


图 7

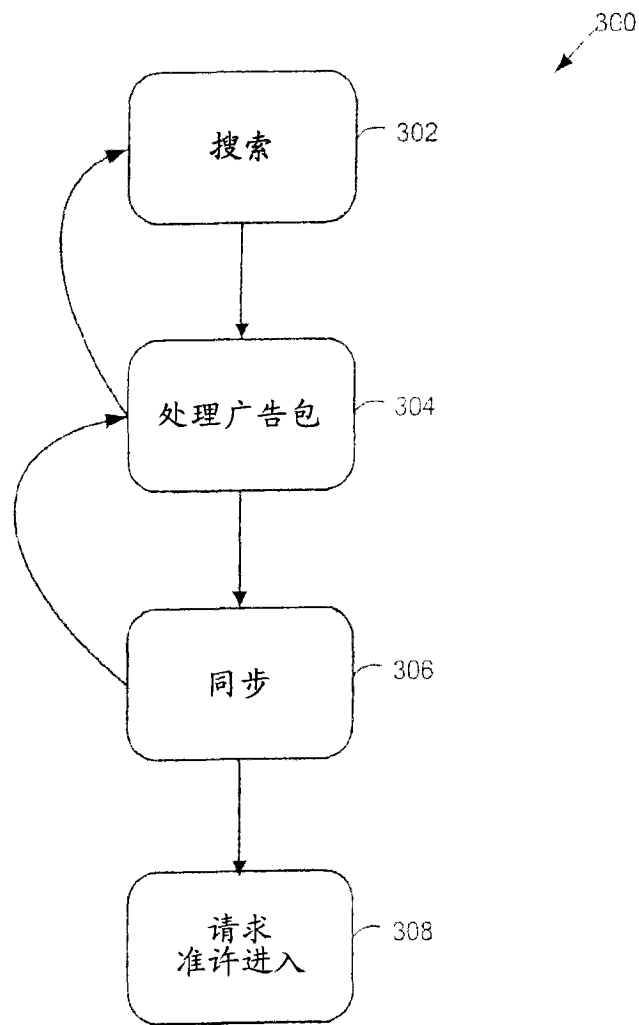


图 8