



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101682546 B

(45) 授权公告日 2013.06.05

(21) 申请号 200880019599.6

(22) 申请日 2008.04.11

(30) 优先权数据

60/911,795 2007.04.13 US

12/100,986 2008.04.10 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2009.12.10

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2008/004750 2008.04.11

(87) PCT申请的公布数据

W02009/017521 EN 2009.02.05

(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

(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 康泉 宋志强

(51) Int. Cl.

H04L 12/28(2006.01)

H04L 12/66(2006.01)

(56) 对比文件

US 6891838 B1, 2005.05.10, 参见说明书第1栏第37行-第5栏第3行、第5栏第54行-第9栏第14行,附图1-2、5、8-11.

US 2005/0228509 A1, 2005.10.13, 全文.

US 2006/0077917 A1, 2006.04.13, 全文.

审查员 陈娟

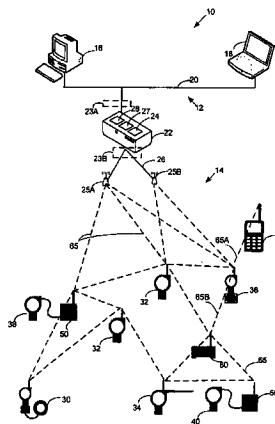
权利要求书4页 说明书20页 附图12页

(54) 发明名称

在过程控制环境下与现场设备的有线和无线混合通信

(57) 摘要

一种为连接到多个有线设备的工厂自动化网络提供无线扩展的方法,各个有线设备执行过程控制功能,该方法包括:将多个无线设备连接到所述工厂自动化网络,所述多个无线设备中的各个无线设备适于经由至少一个相应的无线连接与所述多个无线设备中的至少另一个无线设备通信;以及提供从布置在所述工厂自动化网络中的主机对所述多个无线设备中的各个无线设备的访问权限,使得该主机使用公共通信方案访问所述多个有线设备和所述多个无线设备。



CN 101682546 B

1. 一种为连接到多个有线设备的工厂自动化网络提供无线扩展的方法,各个有线设备执行过程控制功能,该方法包括:

将多个无线设备连接到所述工厂自动化网络,所述多个无线设备中的各个无线设备适于经由至少一个相应的无线连接与所述多个无线设备中的至少另一个无线设备通信;以及

提供从布置在所述工厂自动化网络中的主机对所述多个无线设备中的各个无线设备的访问权限,其中:

包含在所述多个有线设备中的至少一个有线设备是在由所述工厂自动化网络控制的过程中执行相应的物理过程控制功能的现场设备,

该主机使用包括现有寻址方案和从该现有寻址方案扩展的网络寻址方案的公共通信方案访问所述多个有线设备和所述多个无线设备,

所述多个有线设备中的各个有线设备具有与所述现有寻址方案相兼容的相应地址,并且

所述多个无线设备中的各个无线设备具有与所述网络寻址方案相兼容的相应地址。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其中提供对所述多个无线设备中的各个无线设备的访问权限包括:

为所述多个无线设备中的各个无线设备指派与所述网络寻址方案相兼容的基本唯一地址;并且

为所述多个有线设备中的各个有线设备指派与所述现有寻址方案相兼容的基本唯一地址。

3. 如权利要求 2 所述的方法,其中所述网络寻址方案和所述现有寻址方案符合高速可寻址远程变送器(HART[®])协议。

4. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述多个有线设备中的各个有线设备使用有线通信协议通信;其中所述多个无线设备中的各个无线设备使用无线通信协议通信;并且其中提供从布置在所述工厂自动化网络中的主机对所述多个无线设备中的各个无线设备的访问权限包括:

从与所述有线通信协议相兼容的主机接收命令;

确定所述命令与所述多个有线设备之一相关联还是与所述多个无线设备之一相关联;以及

在所述命令与所述多个无线设备之一相关联的情况下,将所述命令转换成所述无线通信协议。

5. 如权利要求 1 所述的方法,其中提供对所述多个无线设备中的各个无线设备的访问权限包括:提供经由无线连接连接到所述多个无线设备中的至少一个无线设备并经由有线连接连接到所述自动化网络的网关设备。

6. 如权利要求 5 所述的方法,其中将多个无线设备连接到所述工厂自动化网络包括:产生包括所述多个无线设备和所述网关设备的网状多节点网络,所述多个无线设备中的各个无线设备作为一相应的节点,所述网关设备作为另一节点。

7. 如权利要求 5 所述的方法,其中提供网关设备包括:在所述网关设备处在第一协议和第二协议之间进行转换;其中所述第一协议支持所述工厂自动化网络中的有线通信,并且其中所述第二协议支持所述网关设备与所述多个无线设备中的各个无线设备之间的无

线通信。

8. 如权利要求 5 所述的方法,进一步包括:当从旁路所述网关设备的手持式设备物理接近于所述多个无线设备中的至少一个无线设备时,提供该手持式设备对所述多个无线设备中的各个无线设备的访问权限。

9. 如权利要求 8 所述的方法,其中提供从该手持式设备对所述多个无线设备中的各个无线设备的访问权限包括:

激活为所述手持式设备保留的调度资源;以及

允许所述手持式设备仅在与为所述手持式设备保留的调度资源相关联的时段内与所述无线设备中的至多一个无线设备直接通信。

10. 如权利要求 5 所述的方法,进一步包括:

在所述网关设备处将过程数据、警报数据或设备数据中的至少一种缓存为与所述多个无线设备之一相关的缓存数据;并且其中

提供从布置在所述工厂自动化网络中的主机对所述多个无线设备中的各个无线设备的访问权限包括:

从指定所述多个有线设备的子集的主机接收变化通知请求;以及

在所述多个无线设备之一与该子集相关联的情况下,向所述主机报告所缓存的数据。

11. 如权利要求 10 所述的方法,其中缓存过程数据包括:在所述网关设备处从所述多个无线设备之一接收自发的突发模式数据报告。

12. 如权利要求 10 所述的方法,其中缓存警报数据包括:

在所述网关设备处从所述多个无线设备之一接收警报;

产生与该警报相对应的确认;

产生与该警报的到达时间相关联的时间戳;以及

将该警报缓存在所述网关设备的存储器中,以用于向与所述主机相关联的请求实体报告。

13. 如权利要求 10 所述的方法,其中报告所缓存的数据和接收变化通知请求中的至少一项与实时传递模式相关联,并且报告所缓存的数据和接收变化通知请求中的另一项与非实时传递模式相关联。

14. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述多个有线设备中的各个有线设备使用有线通信协议通信,该有线通信协议通信具有至少第一物理层和位于该第一物理层之上的应用层和零个或更多中间层;并且其中所述多个无线设备中的各个无线设备使用无线通信协议,该无线通信协议具有至少第二物理层和位于所述第二物理层之上的应用层和零个或更多中间层。

15. 如权利要求 14 所述的方法,其中所述应用层符合 HART[®]通信协议。

16. 如权利要求 1 所述的方法,其中将多个无线设备连接到所述工厂自动化网络包括:产生网状多节点网络,其中所述多个无线设备中的各个无线设备是所述网状多节点网络的相应节点;所述方法进一步包括:

以可操作的方式将至少一个适配器设备连接到所述多个有线设备之一,以使所述多个有线设备之一能够在所述网状多节点网络中作为所述网状多节点网络的另一节点运行。

17. 如权利要求 1 所述的方法,其中将多个无线设备连接到所述工厂自动化网络包括:

产生包括所述多个无线设备的网状多节点网络,所述多个无线设备中的各个无线设备作为相应的节点;该方法进一步包括:

接受来自不包括在所述多个无线设备中的新无线设备对加入所述网状多节点网络的请求;以及

允许所述主机访问该新无线设备而无需重启所述网状多节点网络。

18. 一种通过扩展具有多个有线现场设备的有线网络来形成在过程控制环境下运行的有线和无线混合网络的方法,该方法包括:

经由第一有线连接将无线网关连接到所述有线网络;

将第一无线设备添加到所述有线和无线混合网络,包括:

将所述第一无线设备无线连接到无线网关;以及

形成具有所述第一无线设备和所述无线网关的可独立运行的无线网络;

将所述多个有线现场设备中的第一有线现场设备添加到所述无线网络,包括:

将所述多个有线现场设备中的第一有线现场设备经由第二有线连接连接到无线适配器;以及

将所述无线适配器经由无线连接连接到所述无线网络。

19. 如权利要求 18 所述的方法,其中将所述多个有线现场设备中的第一有线现场设备添加到所述无线网络包括:使所述多个有线现场设备之一的原始有线连接保持完整无缺。

20. 如权利要求 18 所述的方法,其中将无线网关经由第一有线连接连接到所述有线网络包括将所述无线网关连接到分布式控制系统(DCS)。

21. 如权利要求 18 所述的方法,进一步包括将所述多个有线现场设备的第二有线现场设备连接到所述无线网络包括:将所述多个现场设备中的第二现场设备连接到所述无线适配器。

22. 如权利要求 21 所述的方法,其中将所述多个现场设备中的第二现场设备连接到所述无线适配器包括:将所述无线适配器与所述无线网络中的单个地址进行关联;并且其中将所述多个有线现场设备中的第一有线现场设备和所述多个有线现场设备的第二有线现场设备添加到所述无线网络包括:经由所述无线网关在所述多个有线现场设备中的第一有线现场设备和所述多个有线现场设备的第二有线现场设备中的每一个与所述有线网络之间以隧道方式传送数据。

23. 一种通过扩展具有多个有线现场设备的有线网络形成在过程控制环境下运行的有线和无线混合网络的方法,该方法包括:

将多个无线网络接入点经由相应的有线连接连接到所述有线网络;

将多个无线设备添加到所述有线和无线混合网络中,包括:

将所述多个无线设备中的各个无线设备无线连接到所述多个无线网络接入点中的至少一个无线网络接入点;

形成包括所述多个无线设备和所述多个无线网络接入点的可独立运行的无线网络;以及

将所述多个无线网络接入点中的各个无线网络接入点连接到在所述无线网络外部和所述有线网络外部运行的虚拟网关;其中所述虚拟网关是在处理器上运行的软件模块。

24. 如权利要求 23 所述的方法,其中将所述多个无线设备中的各个无线设备无线连接

到所述多个无线网络接入点中的至少一个无线网络接入点包括：响应于检测到所述多个无线网络接入点中的第一无线网络接入点失效，将先前连接到所述多个无线网络接入点中的该第一无线网络接入点的多个无线设备中的各个无线设备自动重新连接到所述多个无线网络接入点中的第二无线网络接入点。

25. 如权利要求 23 所述的方法，进一步包括：

将所述多个有线现场设备中的第一有线现场设备添加到所述无线网络中，包括：

将所述多个有线现场设备中的该第一有线现场设备经由第二有线连接连接到无线适配器；以及

将所述无线适配器经由无线连接连接到所述无线网络。

在过程控制环境下与现场设备的有线和无线混合通信

技术领域

[0001] 本发明总的来说涉及过程控制环境下的无线通信,更具体地说,涉及支持无线通信协议的无线网关。

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使得由不同制造商制出的设备能够以易于使用和实现的方式与彼此通信。过程控制行业中使用的一个众所周知的通信标准是高速可寻址远程传感器(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、传感器测量结果等)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、报警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些有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] 与有线通信类似,无线通信协议被期望提供高效、可靠和安全的信息交换方法。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。而且,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。

[0005] 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结果(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。如果使用测量和控制设备,这些应用中的许多的应用可能被大大简化;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。

发明内容

[0006] 无线网络包括能够进行无线通信的一个或更多现场设备和将该无线网络连接到在过程控制环境下运行的外部主机的网关。在某些实施例中，外部主机可以是另一网络上的节点。所述一个或更多现场设备和所述网关可通过提供各个无线设备与在工厂自动化网络中运行的至少一个主机之间的双向通信，形成扩展在过程控制环境下运行的工厂自动化网络的无线网状网络。在某些实施例中，执行诸如资产管理、警报诊断等的应用程序的主机可使用共同通信方案访问无线网络的无线设备和连接到工厂自动化网络的有线设备。在至少某些实施中，该主机可将无线网络和工厂自动化网络视为具有共同寻址方案和通信协议的单个网络。

[0007] 根据一方面，无线适配器可经由有线链路连接到有线设备，并经由无线链路连接到无线网络。无线适配器可获取符合无线网络的寻址方案的唯一地址，以在无线网络中作为网络节点之一运行，从而为有线设备提供无线能力。在某些实施例中，单个无线适配器可连接到若干个有线设备。具体来说，有线设备可以是 4-20 毫安设备。在其它实施例中，有线设备可以是有线 HART 设备或另一种智能现场设备。在至少某些实施例中，有线设备可在无需断开该智能现场设备的原始布线的情况下经由无线适配器连接到无线网络。

[0008] 根据另一方面，有线设备或无线设备可在无需重启或手动重新配置无线网络的情况下加入该运行中的无线网络。在无线网络的初始配置中，无线网络可包括网关和与网关在同一主机上运行或者在工厂自动化网络的其它地方运行的网络管理器。无线设备和配备有无线适配器的有线设备可通过处理广告消息并与网络管理器交换作为加入序列的一部分的一条或更多消息来加入该网络。在这个意义上，操作员可像现有有线网络的升级一样的新安装来逐步建立无线网络。

附图说明

[0009] 图 1 示意性地示出了通过本公开内容的网关设备连接到工厂自动化网络的无线网络。

[0010] 图 2 是可在图 1 中示出的无线网络中使用的无线 HART 协议的各层的示意图。

[0011] 图 3 是示出使用多路复用器以支持与遗留现场设备的 HART 通信的结构图。

[0012] 图 4 是示出使用无线 HART 适配器以支持与图 2 中示出的遗留现场设备的无线 HART 通信的结构图。

[0013] 图 5 示出提供油罐区中的现场设备之间的无线通信和使用本公开内容的无线网关从分布式控制系统访问最后得到的网状网络的特定示例。

[0014] 图 6 是示出根据在图 1 中示出的无线网络中使用的 5 字节无线 HART 设备标识符构造 8 字节地址的示例的结构图。

[0015] 图 7-10 示出根据各种网络拓扑和先前存在的装置实现无线网络的若干示例。

[0016] 图 11 是这里论述的网关设备可遵守的示例性启动顺序。

[0017] 图 12 是示出与在网关设备处缓存突发模式数据相关的消息交换的示例消息顺序图。

[0018] 图 13 示出手持式设备与图 1 中示出的无线网络之间的若干类型的连接。

具体实施方式

[0019] 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无线网关。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 可以经由无线网关 22 进行连接。更为具体地, 无线网关 22 可以经由第一 (或“主机”) 接口 23A 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。无线网关 22 的第二 (或“无线”) 接口 23B 可支持与在无线网络 14 中运行的一个或若干个设备的无线通信。

[0020] 在运行中, 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) 来实现的无线网关 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。在某些实施例中, 为网络 12 和 14 提供服务的协议可共享各自的协议栈的一个或更多上层, 并且无线网关 22 在对协议栈的共享层或各层使用隧道技术的同时, 可为协议栈的下层提供路由、缓冲和定时服务 (例如, 地址转换、路由、包分段、区分优先级等)。在其它情况下, 无线网关 22 可转换不共享任何协议层的网络 12 和 14 的协议之间的命令。

[0021] 除了协议和命令转换, 无线网关 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) 所使用的同步时钟控制。具体来说, 网关 22 可以预定间隔通过无线网络 14 传播同步数据。

[0022] 在一些配置中, 网络 10 可以包括多于一个无线网关 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。可以驻留在无线网关 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, 无线网关 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, 无线网关 22 可以请求网络管理器 27 分配另外的带宽以适应该事务。例如, 无线网关 22 可以发出适当的服务请求。然后, 无线网关 22 可以在该事务完成时请求网络管理器 27 释放该带宽。

[0023] 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。一般而言, 现场设备执行该过程内的物理控制功能, 例如, 开阀或关阀或获得过程参数的测量值。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。

[0024] 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。

[0025] 如果想要的话,网络 14 可包括非无线设备。例如,图 1 的现场设备 38 可以是遗留(legacy)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 可以经由无线 HART 适配器(WHA)50 或 50A 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[®] Fieldbus、PROFIBUS、DeviceNet 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,预计单个 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。

[0026] 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。

[0027] 为了进一步增加带宽并提高可靠性,无线网关 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 25,网络接入点 25 可以是与无线网关 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无线网关 22 和接入点 25 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 25 可以与无线网关 22 物理分离,接入点 25 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 25 可以通过利用其它接入点 25 补偿一个接入点 25 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 25 出现故障的情况下,拥有多个接入点 25 还提供了冗余。

[0028] 除了分配带宽,要不然的话桥接网络 12 和 14,无线网关 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 可以存储在无线网关 22 中并在无线网关 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 中有单个有效网络管理器 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。

[0029] 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。在无线网络 14 中,现场设备 30-36 为无线通信包的生成者和使用者。

[0030] 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。

[0031] 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。

[0032] 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。

[0033] 如果想要的话,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[®] Fieldbus、PROFIBUS、DeviceNet 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,预计单个 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。

[0034] 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,作为无线网关 22 和网络管理器 27 的结合来运行。

[0035] 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)或者工作站 16 和 18 与设备 30-40 的通信相同的方式,通过无线网关 22 与网络设备 30-40 进行通信。

[0036] 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 之类的单机路由器。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。

[0037] 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、无线网关 22、接入点 25 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网络 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(例如)别名。另外,每个网络设备可以存储与更新(“扫描”)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。

[0038] 进一步,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,邻居设备还可以是以有线方式连接到特定设备的网络设备。如稍后将要讨论的,网络设备可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。

[0039] 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。通常每个无线连接 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在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 可以被容易地驱使或调整为根据需要在特定的无许可证的频率范围中运行。

[0040] 继续参照图 1,两个或更多直接无线连接 65 可以形成在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 65A,连同无线 HART 设备 36 和路由器 60 之间的直接无线连接 65B,可以形成设备 55 和 60 之间的通信路径。如以下更加详细讨论的,这些通信路径中的至少一些可以有向通信路径(即允许或定义一对设备之间沿仅仅一个方向传输数据)。同时,无线 HART 设备 36 可以直接连接到网络设备 55、60、32 中的每一个,并且连接到网络接入点 25A 和 25B。一般而言,在无线网络 14 中运行的网络设备可以发起数据包、中继由其它设备发送的数据包或执行这两种类型的操作。如这里所使用的,术语“终端设备”指不中继由其它设备发送的数据包的网络设备,而术语“路由设备”指中继在其他网络设备之间传播的数据包的网络设备。当然,路由设备还可以发起它自己的数据,或者在某些情况下为终端设备。因此,一个或若干终端设备和路由设备,连同若干直接连接 65,可以形成网状网络的一部分。

[0041] 因为加工厂可以具有成百或者甚至上千个现场设备,所以在该工厂中运行的无线网络 14 可以包括大量的节点,并且在许多工作情况下包括更大量的节点对之间的直接连接 65。结果,无线网络 14 可能具有复杂的网状拓扑,并且不共享直接连接 65 的一些设备对可能必须通过执行这些设备之间的通信的许多中间跳来进行通信。因此,在数据包离开源设备之后到达目的设备之前,可能有时需要沿许多直接连接 65 进行传播,并且每个直接连接 65 可能对该数据包的总传递时间添加一延迟。而且,这些中间设备中的某些中间设备可以位于网状网络的许多通信路径的交叉点处。同样,可能除了发起它自己包之外,这些设备还可能要负责中继由许多不同设备发起的大量的包。因此,相对忙的中间设备可以不马上转发瞬变的数据包,而是在相应的通信路径上向下一个节点发送该包之前,可以将该包排队入队列等待相对长的时间。当数据包最终到达该目的设备时,该目的设备可以用确认包进行回复,该确认包也可能遇到类似的延迟。在该包传播到目的设备以及相应的确认包从该目的设备传播回到该发起设备期间,该发起节点可能不知道该数据是否已经成功到达该目的设备。而且,设备可能由于调度维护和升级或由于意外故障而离开无线网络 14,从而改变了该网状网络的拓扑并破坏了这些通信路径中的某些路径。类似地,这些设备可以加入无线网络 14,从而添加了另外的直接连接 65。如果不以高效且及时的方式进行处理的话,无

线网络 14 的拓扑的这些或其它改变可能会大大影响节点对之间的数据发送。

[0042] 然而,重要的是,传递数据包的效率可以在很大程度上决定工厂运行的可靠性、安全性和总体质量。例如,包括指示反应器的过高温度的测量值的数据包应该快速并可靠地到达另一节点,例如手持式设备 55 或甚至是工作站 16,以便操作员或控制器可以马上采取适当的措施并且如果必要的话致力于解决危险情况。为了高效利用可用的直接无线连接 65 并完全适应频繁改变的网络拓扑,网络连接器 27 可以维护完整的网络地图 (map) 68,定义连接至少某些网络设备对 30-50 的路由方案,并且将该路由方案的相关部分传达给参与该路由方案的每个网络设备。

[0043] 具体来说,网络管理器 27 可以定义包括一个或更多单向通信路径的一组有向图 (directed graph),将图标标识符指派给每个定义的有向图,并且可以将每个图定义的相关部分传达给每个相应的网络设备,每个相应的网络设备而后可以更新特定设备的、在本地存储的连接表 69。如以下更详细的说明,网络设备 30-50 接着可以基于包括在数据包的包头、包尾等的图标标识符来路由这些数据包。如果想要的话,每个连接表 69 可以仅仅存储与相应的网络设备直接相关的路由信息,这样该网络设备不知道包括该网络设备的有向图的完整定义。换句话说,该网络设备可能无法“看到”其直接邻居之外的网络,并且在这种意义上,该网络设备可能不知道无线网络 14 的完整拓扑。例如,在图 1 中示出的路由器设备 60 可以存储连接表 69A,其可以仅仅指定与相邻网络设备 32、36、50 和 34 相关的路由信息。同时,WHA 50A 可以存储连接表 69B,其相应地可以指定与 WHA 50A 的邻居相关的路由信息。

[0044] 在某些情况下,网络管理器 27 可以在网络设备对之间定义双重通信路径,以确保在主通信路径的直接连接 65 之一变得不可用的情况下,数据包仍然可以沿副通信路径到达目的设备。然而,直接连接 65 中的一些可以在特定的网络设备对的主路径和副路径之间被共享。而且,网络管理器 27 在某些情况下可以将要使用的整个通信路径传达给某一网络设备,该网络设备接着可以发起数据包并且将完整的路径信息包括在该数据包的包头和包尾中。优选地,针对无严格的等待时间要求的数据,网络设备使用这种路由方法。如下详细讨论的,该方法(这里称为“源路由”)可以不提供相同程度的可靠性和灵活性,并且,一般而言,可以具有传递延迟较长的特征。

[0045] 无线网络协议的(并且特别是在无许可证的频带中运行的无线网络的)另一核心要求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。

[0046] 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”。

[0047] 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) 以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。

[0048] 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 25 和 30-55 指定将诸如时间段和无线电频率之类的资源的分配。具体来说,主网络调度表 67 可以指定网络设备 25 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。

[0049] 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。

[0050] 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。

[0051] 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 可以在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。

[0052] 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。

[0053] 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 67A。设备调度表 67A 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 67B。相应地,网络设备 34 可以根据设备调度表 67A 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 67(例如,67A 和 67B),并且当需要将独立的设备调度表 67 传达给相应的设备。当然,设备调度表 67A 和 67B 是总体或主网络调度表 67 的子集,或者是从总体或主网络调度表 67 获得的。在其它实施例中,独立的网络设备 25 和 35-50 可以至少部分定义或协商设备调度表 67 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 67,同时检查资源竞争并解决潜在的冲突。

[0054] 以上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。

[0055] 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程度的可靠性和安全性。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 可以不与任何现有协议共享甚至最上面的应用层。

[0056] 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)添加给已知的有线 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。

[0057] 因为这里描述的无线 HART 协议 70 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 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无线网关 22, 要么从无线网关 22 向下游传播到特定的节点。

[0058] 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。

[0059] 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。

[0060] 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。另外, 网络管理器 27 可以维持全局性绝对时隙计数, 该绝对时隙计数可以反映自从无线 HART 网络 14 启动以来被调度的时隙的总数。该绝对时隙计数可以用于同步目的。

[0061] 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。

[0062] 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。

[0063] 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,例如传播到手持式设备55,其可以是便携式HART通信装置。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无线网关22的请求被发送。响应于成功接收到该请求,无线网关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。

[0064] 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。如果想要的话,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、当前计数器)以及传输信息(可靠传输顺序号、重试计数器等)。

[0065] 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最上层中进行协议转换的需要。

[0066] 图3和4示出了建立或扩展过程控制网络的无线HART方法的某些优势。具体来说,图3将用配置100示意性地表示的报告过程变量的遗留方法与用配置102表示的有线HART方法进行对比。图4进一步示出使用HART的无线扩展的方法的某些附加优势。

[0067] 参见图3,硬线4-20毫安仪器102(可以是科里奥利流量计)仅能经由通常经过编组机柜108的有线连接106向分布式控制系统(DCS)报告单个过程变量。例如,仪器102可向DCS 104报告流速测量值。通过HART标准的引入,通过单对电线报告多个变量变得可

能,并且此外,HART 多路复用器 110 的引入为 4-20 毫安设备提供支持。具体来说,HART 多路复用器 110 的若干个输入中的每一个都可用于到独立环路的独立硬线连接 112,以用于测量流速、密度、温度等。HART 多路复用器 110 然后可经由有线连接 114 向 DCS 104 报告这多个变量。然而,尽管诸如 HART 多路复用器 110 之类的输入模块或多路复用设备可允许 DCS 104 使用单个连接 112 与若干个遗留现场设备通信,但是对这种有遗留装置进行改进可能是困难、昂贵且耗时的。举例来说,使用 HART 多路复用器 110 仍要求对编组机柜 108 进行重新布线,并为各个环路添加硬线连接 112。

[0068] 另一方面,图 4 示出可依赖于无线 HART 协议 70 的更有利的配置 120。如以上简要指示的,无线 HART 适配器 50 可在提供对符合 HART 标准的过程变量组的访问权限的同时,与现有的仪器(例如定位器、变送器等)协同工作,以支持 4-20 毫安信令标准。因此,配置 110 可被更新为配置 120,同时将编组机柜 108 保持完整无缺。更具体地说,无线 HART 适配器 50 可以有线方式连接到现场设备 102,并建立与网关 122 的无线连接,网关 122 也可与一个或更多无线 HART 设备 124 通信。因此,无线 HART 现场设备、适配器以及网关可允许工厂操作员以成本有效的方式升级现有的网络(即将无线 HART 适配器添加到遗留设备),并通过在有线 HART 设备(未示出)和诸如 4-20 毫安装置之类的遗留设备相同的网络中使用诸如设备 124 之类的无线 HART 设备来扩展现有的网络。当然,有线工厂自动化网络也可包括使用诸如 Foundation Fieldbus、Profibus DP 等之类的其它协议的设备,并且应当注意到,部件 50 和 122 可类似地扩展和升级其它网络。为了清楚起见,所有这样的网络在这里都被称为“遗留网络”。

[0069] 还应当注意到,具有内置无线 HART 能力的仪器提供使这些设备能够自供电(例如电池供电、太阳能供电等)的额外优势。无线方法的其它优势在于根据需要添加对独立仪器的多变量数据访问的能力、消除了对编组机柜重新布线以适应 HART 多路复用器的需要,以及在经由无线 HART 适配器 50 访问副过程测量值的同时维护在 4-20 毫安信令线上的主测量值的可能性。进一步,诸如工作站 16(见图 1)之类的主机可使用标准 HART 命令来从无线连接到无线 HART 网络 14 的网络设备读取必需的过程值(通用命令)。更进一步,用户可经由包括例如诊断消息或远程更新上传和下载设备配置的 HART 命令访问所有可用的设备功能。

[0070] 图 5 提供在油罐区 130 中形成无线网状网络的特定示例以进一步示出这里所述的无线网关的应用。在该特定示例中,油罐区 130 可利用若干个无线 HART 设备来进行油位监测。更具体地说,油罐区 130 包含作为现有设施的一部分的若干个油罐 132。本领域普通技术人员将认识到,为了给油罐区 130 添加测量和监测能力,并且使每个油罐 132 在 DCS 134 上可见,当前已知的解决方案需要将线缆延伸到每个油罐以连接新安装的仪表或传感器。若现有的线缆长度范围内没有充足的备用容量,则该操作可能是个昂贵且耗时的选择。另一方面,这里描述的无线解决方案可利用自己供电的仪器来报告新的过程测量值。这些测量值可能例如来自容易安装的无线接触式温度监测设备 136。此外,由于为油罐区 130 提供服务的工程师、技术员和其它工厂操作员可能不需要拉线缆或购买和安装控制器输入模块,因此最后的成本节约可能使得添加若干个过程测量点以改进过程可见性变得经济可行。例如,工厂操作员可为每个油罐额外添加压力传感器 138。压力传感器 138、无线接触型温度监测设备 136、无线网关 137 和未在图 5 中示出的额外的无线设备由此可形成无线网

络 140。

[0071] 如以上参照图 1 一般讨论的,重要的是,考虑每个库 132 上的无线设备的位置,以便无线网络 140 可以形成高效和可靠的网状布置。在某些情况下,有必要在那些工厂装置可能阻塞或严重影响无线连接的地方上添加路由器 60。因此在这种或类似情况下,期望无线网络 140 是“自修复”的,即能够自动处理传递故障中的至少一些故障。为了满足这种情况或其它设计要求,无线网络 140 可以定义冗余路径和调度表以便响应于检测到一个或更多直接无线连接 65 的故障,网络 14 可以经由备用路由对数据进行路由。而且,可以在不会关断或重启无线网络 140 的情况下添加和删除这些路径。因为在许多工业环境中的这些障碍或干扰源中的一些可以是暂时的或可移动的,因此,无线网络 140 可能自动重新组织自己。更为具体地,响应于一个或更多预定的条件,现场设备对可以将彼此识别为邻居,从而生成直接无线连接 65 或者相反地,解除先前的直接无线连接 65。另外,(在图 5 中示出为驻留于无线网关 137 中的)网络管理器 142 可以额外地生成、删去或暂时中止非邻居设备之间的路径。

[0072] 再参见图 1、4 和 5,如果无线网络 14 或 140 提供对参与网络设备进一步寻址的有效方法,则升级或扩展遗留网络的方便性可进一步提高。特别期望的是无缝扩展设备的现有寻址方案,以减少或甚至是消除重新配置遗留设备的需要。此外,这种寻址方案可简化用于访问和监测无线网络 14 的外部应用程序地开发,并且在至少某些预计的实施例中,可允许现有的应用程序使用单个、统一和向后兼容的方案访问 4-20 毫安设备、有线 HART 设备和无线 HART 设备。图 6 示意性地示出一种可提供以上论述的某些或所有优势的为各个网络设备 30-55、136 和 138 指派地址信息的方法。

[0073] 再参见图 2,无线 HART 协议 70 的数据链路层 76 可使用 8 字节地址 200,如图 6 所示。同时,网络层 78 可使用在无线 HART 网络 14 内的唯一 5 字节身份 202。在一个实施例中,无线 HART 协议 70 支持两种地址:2 字节“别名”204 和 8 字节 IEEE EUI-64™ 地址 200。与数据链路 76 相关联的包或数据链路协议数据单元(DLPDU)可包含指示 DLPDU 中包括的地址是 2 字节别名 204 还是全 8 字节地址 200 的专用字段。在运行中,网络地址 30-50、136 和 138 可使用两种格式中的任一种在无线网络 14 或 140 内路由数据包。

[0074] 在一个实施例中,网络管理器 27 或 142 可为独立的网络设备 30-55、136 和 138 指派 2 字节别名 204,并在无线网络 14 或 140 的运行期间管理别名 304。作为补充或替代地,其它实体或网络设备可参与别名管理。特定网络设备的别名 204 可以是仅本地唯一的,即仅在网络设备运行于其中的网络 14 或 140 内是唯一的。在大多数情况下,别名 204 指具体的网络设备。然而,诸如 0xFFFF 之类的预定义值可对应于广播地址。

[0075] 进一步,EUI-64 地址 200 可包括由电气和电子工程师协会(IEEE)指派的三字节组织唯一标识符(OUI)206 和由 HART 协议 70 或无线 HART 协议 72 控制的 5 字节唯一标识符 202。在无线 HART 的情况下,全 EUI-64 地址 200 可以利用 HART 通信基金会(HCF)组织唯一标识符(OUI)206 与如 6 所示的 40 比特 HART 唯一标识符 202 的串接来构造。

[0076] 同时,唯一标识符 202 可以是 2 字节扩展设备类型代码 208 与 2 字节设备标识符 210 的串接。优选地,该扩展设备类型代码 208 由诸如 HCF 之类的负责定义无线 HART 协议 70 的组织分配。优选地,利用同一设备类型代码 208 制造的各个设备具有不同的设备标识符 210。进一步,由于 IEEE802.15.4 要求以 LSB 优先的方式发送多字节字段(“小端字节

序, littleendian”),因此无线 HART 协议 72 可遵从 LSB 排序。因此,长地址 200 在 DLPDU 中以设备标识符 210 的最低有效位 (LSB) 开始发送,而以 HCF0UI 306 的 MSB 结束发送。在该实施例中,别名 204 也可以小端字节序 (LSB 优先) 的方式发送。

[0077] 以上参照图 6 描述的寻址方案可提供从支持有线 HART 协议 72 的有线环境到至少局部具有无线能力的无缝转换。根据以上描述将认识到,由于所建立的 HART 寻址方案的无缝扩展和能够将各种网络连接到无线 HART 网络 14 的无线网关的无缝扩展,将无线 HART 设备 30、32 等逐步添加到硬线 HART 网络而不彻底重建相应的过程控制环境是可能的。无线网关 22 或 137 可以用 HART 设备类型配置的无线 HART 设备。用更通俗的话说,无线网关 22 或 137 也可以是无线 HART 网络 14 或 10 上的网络设备。另一方面,无线网关 22 或 137 可向工厂自动化网络 12 提供服务接入点 (SAP)。本领域技术人员将意识到,服务接入点通常用作终点或进入各种服务或网络的进入点。因此预计无线网关 22 或 137 除了隧道技术和协议转换之外,还可提供针对大数据传输的缓冲和本地存储。

[0078] 重要的是,无线网关 22 或 137 的第二接口 23B 不需要被限制为任何特定协议。例如,以太网到无线式无线网关 22 或 137 可提供工业以太网与无线 HART 网络 14 之间的双向路径,Wi-Fi 到无线式无线网关 22 或 137 可在 802.11a/b/g 无线电链路上运行,以类似地将无线网络 14 或 140 连接到工厂网络,而串行到无线式无线网关 22 或 137 可启用工厂自动化服务器与支持串行接口的其它装置之间的连接。最后,很多过程控制装置的供应商提供私有的输入/输出 (I/O) 网络,并且因此需要私有接口。在后者的情况下,无线网关 22 可装配有特定系统的私有接口。

[0079] 图 7-10 连同图 1 一起示出在各种网络拓扑中且鉴于不同的现存装置和环境状况可能有用的无线网关的若干个实施例。在图 1 所示的示例中,无线网关 22 可经由以太网或其它标准协议将无线 HART 网络 14 连接到工厂自动化网络 12。然而,无线网关 22 或 127 也可支持其它类型的连接。如图 7 所示,例如,网络 300 可包括以可通信方式连接到工厂骨干 305 的 DCS 302。工作站 306 也可连接到工厂骨干 20,并且可向操作员和工厂员工提供对 DCS302 和网络 330 的剩余部分的访问权限。进一步,DCS 302 可通过一组承载 4-20 毫安范围内的可变 DC 电流的导线 312 与现场终端组件 (FTA) 310 通信。本领域技术人员将认识到,FTA 310 主要用于在为 DCS 302 的特定商家布线提供一定程度的灵活性的同时,维持与遗留 4-20 毫安设备 320 相同的布线 316。另外,FTA 310 可经由信令链路 326 连接到多路复用器 324。类似于前面论述的多路复用器 110,多路复用器 324 可提供一个或更多输入与一个或更多输出之间的信号转换。在该特定示例中,多路复用器 324 可连接到适配器 328,适配器 328 可将 RS232 信令转换成 RS485 信令,并且因此使工作站 306 能够经由标准 RS232 串行端口与多路复用器 324 通信。最后,FTA 310 的另一输出可经由链路 332 连接到无线网关 330,接下来,该链路 332 可连接到包括若干个无线设备 336 的无线 HART 网络 33。

[0080] 根据一方面,无线网关 330 在网络 300 中运行,以将网络 300 的包括有线现场设备 320、DCS 302 以及多路复用器 324 的遗留部分无缝扩展为包括无线 HART 网络 300 的无线 HART 设备 336。在该实施例中,无线网关 330 和多路复用器 324 之间的链路 326 和 332 可都支持 RS485 连接。该布置可允许无线网关 330 处理特定的 RS485 命令,并将所有其它命令作为 HART 命令传到目标现场设备 336 之一。

[0081] 在另一实施例中,无线网关可作为新无线网络装置的一部分被提供。再参见图 1,

无线网关 22 可连接到工厂自动化网络 12。网络管理器 27 和安全管理器 28 可在无线网关 22 上运行,或在诸如工作站 16 之类的驻留于网络 12 的主机上运行。无线网关 22 可经由诸如 Profibus DP 之类的任意总线连接到工厂自动化网络 12。

[0082] 在也与图 1 的图示说明一致的另一实施例中,网关 22 可以是既包括网络管理器 27 又包括安全管理器 28 的单机单元。在该实施例中,诸如资产管理软件之类的较高等级的应用程序可在工作站 16 上运行,并于网络设备 30-50 通信。另外,手持式无线 HART 设备 55 可读取主副过程测量值和警报,周期性地将该数据经由网关 22 并通过某种其它网络类型,例如蜂窝网络,发送到主机应用程序。可替代地,该主机应用程序可在工作站 16 或 18 上运行,工作站 16 或 18 可通过工厂骨干 20 与网关 22 通信。

[0083] 现在参见图 8,网络 360 可包括无线网关 362 的另一实施例。具体来说,无线网关 362 可用与个人计算机或工作站 364 的扩展槽相兼容的 PC 卡来实现。在该实施例中,无线网关 362 可容易地支持诸如资产管理软件之类的较高等级的应用程序。另外,主副测量值、警报等还可通过作为 SAP 运行的无线网关 362 被访问,并被本地处理或通过某种其它网络发送到另一工厂应用程序。

[0084] 最后,图 9 示出一配置 380,其中无线网关 382 被嵌入 I/O 系统 384 内。可替代地,系统 380 可以是基于 DCS 的系统。该配置可提供 I/O 测量以用于监测和控制系统 380 的应用。另外,在主机 386 上运行的诸如资产管理软件之类的较高等级的应用程序,可通过使 HART 命令以隧道方式通过驻留于工厂骨干 388 上的控制网络并经由 I/O 系统 384,来以该特定配置运行。

[0085] 图 10 提供一个实施例的更具体地图示说明,在该实施例中,无线网关分布在若干个网络部件中。具体来说,网络 390 可包括经由网关 396 连接到无线网络 394 的工厂自动化网络 392,网关 396 包括驻留于网络主机 402 上的虚拟网关 400 和两个网络接入点 404 和 406。根据该实施例,可替代地,网关 396 可包括单个接入点 404 或 406,或者也可相反地,包括多于两个接入点 404 或 406。此外,网关 396 可在运行期间通过额外的接入点动态地扩展。通常,接入点 404 或 406 的数目可取决于诸如无线网络 394 运行于其中的自动化工厂的物理布局(例如阻挡无线信号的障碍物、无线设备之间的相对距离等)、无线网络 394 的带宽要求(例如向工厂自动化网络 392 中运行的主机发送数据的无线设备的数目、在每个设备处的发送频率)之类的因素,以及更多诸如成本和对各个独立网络接入点 404 和 406 进行布线的难度之类的显而易见的因素。优选但并非必需的,接入点 404 和 406 彼此之间提供至少一些冗余,以便在例如网络接入点 404 失效的情况下,网络接入点 406 可接管并补偿至少损失的带宽的一部分。

[0086] 在运行中,虚拟网关 400 可与各个网络接入点 404 和 406 通信,以建立与在无线网络 394 中运行的无线网络设备 412-418 中的至少某些无线网络设备的无线连接、经由网络接入点 404 和 406 中的一者或两者提供时钟控制给无线网络 394、在网络接入点 404 和 406 中的每一个处控制无线资源(例如时隙和信道)的分配。另外,虚拟网关 400 可负责协议和地址转换,以保证无线网络 394 与工厂自动化网络 392 的无缝协作。

[0087] 具体对于寻址,网关 396 可通过为虚拟网关 400 指派知名地址 420 来提高将来自和去往无线网络设备 412-418 的数据的路由的有效性和可靠性。同时,网络接入点 404 和 406 中的每一个可分别具有单独的地址 424 和 426。在运行中,网络设备 412-418 可通过指

定知名地址 420 来将数据路由至网关 396。在这个意义上,网络设备 412-418 不需要知道有多少个网络接入点 404 和 406 作为网关 396 的一部分在运行,或者与网络接入点 404 和 406 中的每一个相关联的地址是多少。此外,在某些实施例中,网络设备 412-418 中的每一个可具有至少一条到网络接入点 404 和 406 中的每一个的路径(例如直接连接或经由一个或更多中间网络设备的连接)。以这种方式,即使所有网络接入点中除了一个之外其它所有的网络接入点 404 或 406 都失效,整个无线网络 394 仍然可接入到网络 392 中的主机。在替代实施例中,虚拟网关 400 或对应网络管理器可响应于检测到网络接入点 404 或 406 中的一个或更多网络接入点的状态改变,添加或删除网络接入点 404 或 406 与无线网络 394 的网络设备之间的无线连接。例如,网关 400 可向管理器报告网络接入点 404 的失效,而管理器接下来可添加直接连接 430 以创建网络 394 与网络接入点 406 之间的经由网络设备 412 的路径。

[0088] 对于协议转换,应当注意到,通常,无线网关 396 可支持任何在网络 392 和 394 上运行的协议。然而,在某些实施例中,网关 396 可识别各个协议的一个或更多共享层,并在进行协议之间的转换时使一个或更多上层保持完整无缺。在一个特别有用的实施例中,无线网络 394 可使用无线 HART 协议 70(见图 2)运行,而主机 402 可经由例如 HART 调制解调器向网络设备 410-418 发出 HART 命令。在这种情况下,网关 396 可在层 74-82 上进行协议转换,而无需修改与层 84 相关联的数据。

[0089] 总体参见图 1、4、5、7 和 8-10,无线网络 14、140 或 394 可进一步改进对改变环境状况的响应性,并且作为补充,通过从网关设备开始逐步建立无线网络来改进设备间通信的可靠性。再参见图 1,无线 HART 网络 14 可最初从网络管理器 27 和网关 22 形成。根据前面论述的各种实施例,网络管理器 27 和网关 22 可驻留于同一物理主机上,并且可以有线或无线方式通过双向连接相连。更具体地说,图 11 示出可在无线 HART 网络 14 初始化时运行的示例启动程序 450。

[0090] 如图 11 所示,例程 450 包括第一步骤 452,其间网关 22 启动并初始化。在步骤 454 中,网关 22 可生成网络管理器 27 的实例。应当注意到,尽管示例步骤 454 包括作为在与网关 22 所在的物理主机相同的物理主机上运行的软件实例的网络管理器 27 的生成,但是网络管理器 27 还可在工作站 16 或 18 之一上运行,或者可分布于若干个硬件部件中。在替代实施例中,网络管理器 27 可先启动,并且可生成虚拟网关 24 的实例。

[0091] 然后,网关 22 或网络管理器 27 可在块 456 中生成安全管理器 28 的实例。在无线 HART 网络 14 的运行期间,安全管理器 28 可与网络管理器 27 一起工作以保护 HART 网络 14 免受各种对抗性威胁。具体来说,安全管理器 28 可为网络管理器 27 提供安全密钥,该安全密钥可用于无线 HART 网络 14 中的设备鉴权和数据加密。安全管理器 28 可产生和管理被无线 HART 网络 14 使用的加密材料,并且也可负责这些密钥的产生、存储和管理。在块 458 中,安全管理器 28 可建立与网络管理器 27 的连接。在随后的操作中,安全管理器 28 可采用服务器-客户端的架构与网络管理器 27 密切地一起工作。在某些实施例中,安全管理器 28 的单个实例可为多于一个无线 HART 网络 14 提供服务。

[0092] 接下来,网关 22 可在块 460 中开始提供时钟控制或同步。由于无线 HART 网络 14 可具有多于一个网关 22,并且由于同步通常来自于单个源,因此网络管理器 27 可明确地指定同步的源。例如,网络管理器 27 可执行网络接入点 25A 作为时钟控制源。如果需要的话,

图 1 的网络接入点 25A 和网络接入点 25B 两者均可提供同步时钟信号。

[0093] 继续参见图 11, 网络管理器 27 可在块 462 中生成无线 HART 网络 14 的第一超帧和第一网络图。然后在块 464 中, 无线 HART 网络 14 可开始广告, 以便现场设备 30、32 等可处理这些广告包, 并且启动对加入该网络的过程。如以上所论述的, 网关 22 可驻留于无线 HART 网络 14 上以作为网络设备。因此, 现场设备可使用与被这些设备用来与邻居现场设备通信的命令和程序相同的命令和程序与网关 22 通信。进一步, 现场设备可从包括网关 22 的任何网络设备接收广告包, 并对这些广告包作出响应。

[0094] 图 12 通过在场景 500 中概括客户端 502、网关 504 与无线现场设备 506 之间的消息的交换示出网关 22 的运行的又一方面。应当注意到, 在该图中, 网关 504 可对应于以上参照图 1-10 所论述的任何实施 (例如网关 22、122、137、330、362、382、396), 而客户端 502 可以是在无线网络 14、140、334、360、380、394 外部并与对应的网关通信的任何应用程序或实体。无线现场设备 506 可以是以上论述的任何无线现场设备 (例如图 1 的现场设备 32), 优选地, 其支持对应无线协议 (例如无线 HART 协议 70) 的命令。下面的论述将进一步示出网关 504 可并发地与驻留于同一或不同主机上的若干个客户端 502 进行交互, 并且可支持各个客户端 502 与一个或若干个无线现场设备 506 的交互。

[0095] 如图 12 所示, 客户端 502 可产生对通知变化的请求 510, 该请求可列出一个或若干个无线现场设备 506。在该特定示例中, 客户端 502 可期望接收关于现场设备 A、B、C 的更新。为了简化起见, 图 12 示出这三个设备中的仅一个设备和仅一个客户端 502, 但是应当认识到, 场景 500 可类似地包括若干个并发的交互。在接收到请求 510 后, 无线网关 504 可验证设备 A、B、C 事实上例如在无线网络中运行, 并且用确认 512 回复该请求 510。

[0096] 接下来, 无线网关 504 可更新内部表或另一存储结构, 以指示至少一个外部客户端现在监测现场设备 A、B 和 C。在一个示例实施例中, 无线网关 504 可维护与至少一个监测或相反交互外部应用程序相关联的无线现场设备的链表。该链表中的各个条目接下来可对应于为这些更新而登记的客户端的链表。当无线现场设备 506 (可以是现场设备 B) 产生周期性突发模式更新 (消息 520) 时, 无线网关 504 可单步调试无线现场设备的链表以观察该无线现场设备 506 是否属于该列表, 在该示例中, 无线现场设备 506 可定位指示客户端 502 已登记为接收过程数据、警报和 / 或其它信息的条目中。无线网关 504 可另外对消息 520 中所包括的信息进行缓存和加时间戳 (程序 522)。

[0097] 接下来, 无线网关 504 可为客户端 502 产生变化通知 530。在其他实施例中, 如果不需要实时或准实时通知的话, 客户端 502 可明确地建立通知调度表 (例如每小时一次, 每天一次等)。在又一实施例中, 客户端 502 可请求条件通知 (例如如果数据指示温度高于 1000 摄氏度) 或指定无线网关 504 应当将该变化通知 530 转发给的操作员。在任一种情况下, 无线网关 504 可更新对应的位或标志以指示该通知已被发送。这样, 另一突发模式更新 520 将不必触发新的变化通知 530。

[0098] 继续参见图 12, 同一客户端 502 或另一客户端可通过产生请求数据消息 532 在稍后请求与无线现场设备 506 相关的过程数据。无线网关 504 可简单地执行读取高速缓存程序 534 并生成响应 536 来报告已缓存数据。由于无线网关 504 优选地对高速缓存 (cache) 中的数据加时间戳, 并且将该时间戳包括在响应 536 中, 因此客户端 502 能够正确解释所缓存的数据。因此, 无线网关 504 可有利地通过管理突发模式数据将无线网络 14、140、334、

360、380 或 39 从过度的轮询 (polling) 中解放出来 (关于这一点,应当注意到,无线现场设备 506 可在无需接收到针对每次更新的明确命令的情况下公布突发数据)。

[0099] 应当认识到,除了支持突发模式数据之外,无线网关 504 可类似地接受警报和报警。在这些情况下,无线网关 504 可在需要的情况下确认警报和 / 或报警以开启 (unblock) 发起无线设备,并保证警报或报警信息不会丢失。此外,报告多个变量的无线现场设备 506 可通过使用事件报告技术根据需要 (例如当发生变化时) 发送变量更新。在某些实施例中,客户端 502 可向无线网关 504 发送特定的命令,其可激活无线现场设备 506 中的特定类型的事件报告。不像突发模式数据,事件数据可能相对不频繁,并且可能不要求大量带宽。重要的是,无线网关 504 可类似地缓存事件数据,响应于来自客户端 502 的请求,在接收到之后立即将该事件数据转发到客户端 502。

[0100] 如前面所指示的,无线网络 14、140、300 或 394 可包括一个或更多无线手持式设备 55,这些无线手持式设备可被操作员用于例如各种安装、维护和诊断目的。再参见图 1,手持式设备 55 可经由直接无线连接 65A 连接到网络设备 36。在该示例配置中,手持式设备 55 可在无线网络 14 中作为网络设备之一运行,即作为接收网络广播命令、参与至少管理超帧等的节点运行。此外,该配置中的手持式设备 55 可建立与诸如网络接入点 25B 之类的其它网络设备的额外直接无线连接,并代表其它网络设备 30-50 路由数据。

[0101] 相反,在无线网络 602 (图 13) 中运行的手持式设备 600 经由直接无线连接 606 仅与无线现场设备 604 通信。不像以上参照图 1 所论述的配置,手持式设备 600 参与无线网络 602 可限于对来自独立的网络设备的信息的校准、诊断和采集等。当在该模式下运行时,手持式设备 600 可被称为作为维护设备连接到无线网络 14。图 13 中示出为在网关 612 中运行的软件模块的网络管理器 610,可阻止诸如手持式设备 600 之类的维护设备参与其它网络操作,例如路由由其它网络节点发送的数据、向网关 612 传播数据、请求用于未经调度的数据传输的额外带宽等。为了该目的,网络管理器 610 可分配为与维护设备通信而保留的维护超帧。维护超帧优选高速超帧,尽管相对较低的维护超帧在某些应用中可能已足够。网络设备 604 和 620-622 中的每一个被提供类似的关于维护超帧 (例如超帧长度、开始时间等) 的信息,但是网络管理器 510 可将维护超帧保持在禁用的状态下,直到维护设备尝试连接到网络设备 604 或 620-622 之一为止。

[0102] 在一个实施例中,每次仅一个手持式设备 600 可与无线网络 600 的网络设备一起运行。网络管理器 610 可响应于从作为维护设备临时加入无线网络 602 的手持式设备 600 接收到请求,激活维护超帧,将激活信息传达到某些或所有网络设备 604 和 620-522,并在手持式设备 600 与对应的网络设备断开时,禁用该维护超帧。在其它实施例中,网络管理器 610 可管理多个维护超帧,这些维护超帧可具有相同数目的时隙,或者为了更好地适应各种维护设备,具有不同数目的时隙。

[0103] 在一个可用的场景中,技术员可能希望以对无线网络 602 的已调度运行干扰最小的方式从无线现场设备 604 和 620-622 之一采集诊断信息。此外,他或她可能还希望在执行例如诊断例程时观察设备。为了避免经由网关 512 从远程工作站连接到网络设备,技术员可将手持式设备 600 携带到目标现场设备处,并激活可被该手持式设备 600 执行以连接到现场设备的合适例程。一旦被激活,该手持式设备 600 可侦听来自网络设备的广告包,对来自目标现场设备的广告包作出响应,并在为加入设备保留的时隙之一内向网络管理器

610 发送带宽请求。网络管理器 610 可处理该请求,要么拒绝该手持式设备 600(例如,如果该手持式设备 600 未能提供足够的鉴权信息,或者如果另一维护设备已经在维护超帧中运行),要么准予该带宽请求,并激活维护超帧。具体来说,网络管理器 610 可通过网络 602 广播单条消息,以指示 604 和 620-622 中的每一个维护超帧现在有效。网络管理器 610 可稍后通过类似地广播一禁用信息来禁用该维护超帧。

[0104] 在某些实施例中,手持式设备 600 可作为维护设备连接到无线网络 500,但是使用一个或更多中间跳访问目标网络设备。例如,技术员可能由于例如物理障碍物的原因无法在足够短的距离内接近现场设备以建立直接无线连接。他或她然后可使用该手持式设备 600 以经由直接无线连接连接到最近的网络设备之一,并且该最近的网络设备可在维护超帧内转发目标现场设备与手持式设备 600 之间的数据。应当认识到,由于各个网络设备 504 和 520-522 都被提供维护超帧,因此无线网络 602 可在无需使用额外的命令或很长的程序来协商带宽、重新调整整个网络调度表等的情况下支持该场景。

[0105] 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。

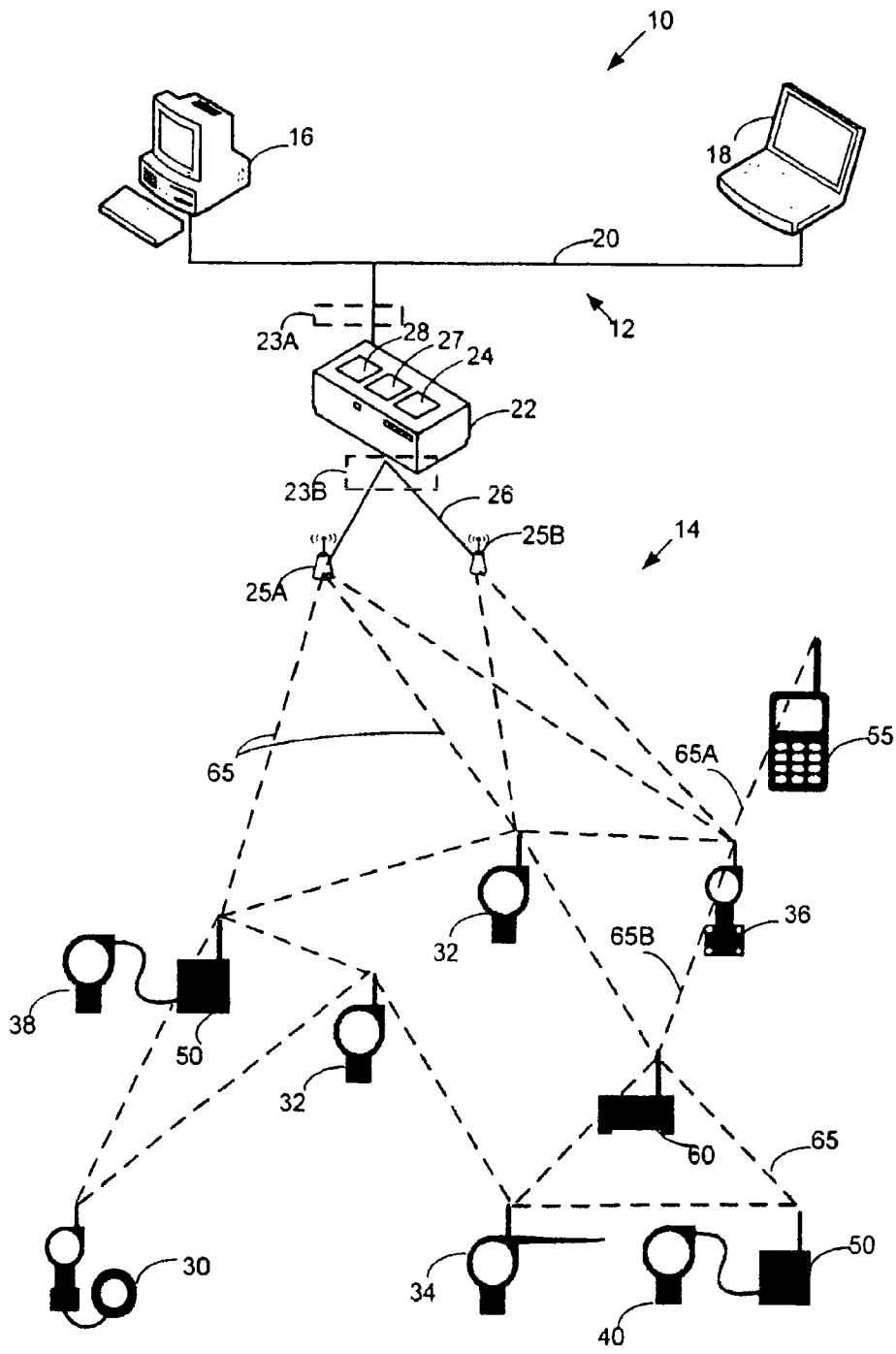


图 1

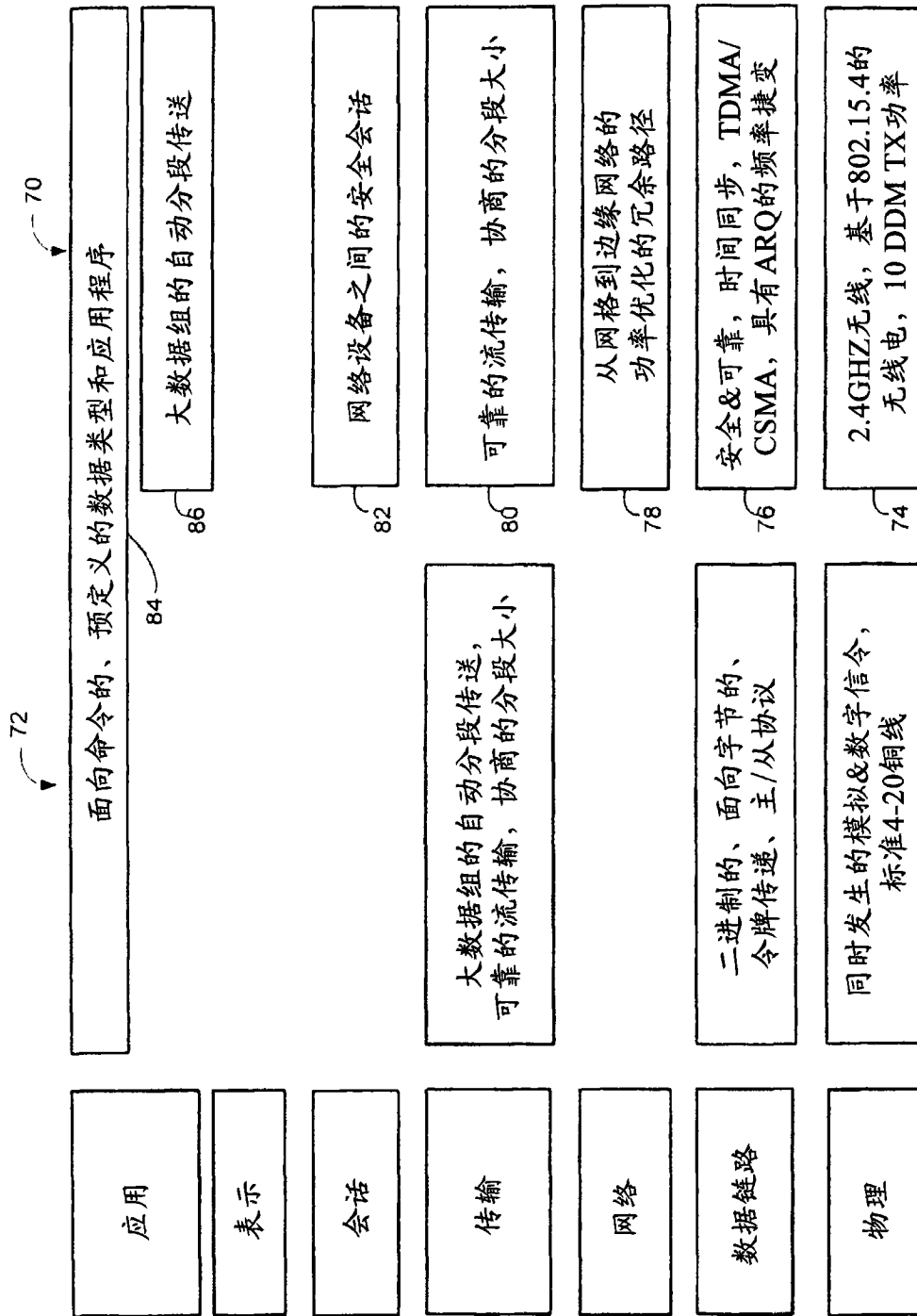


图 2

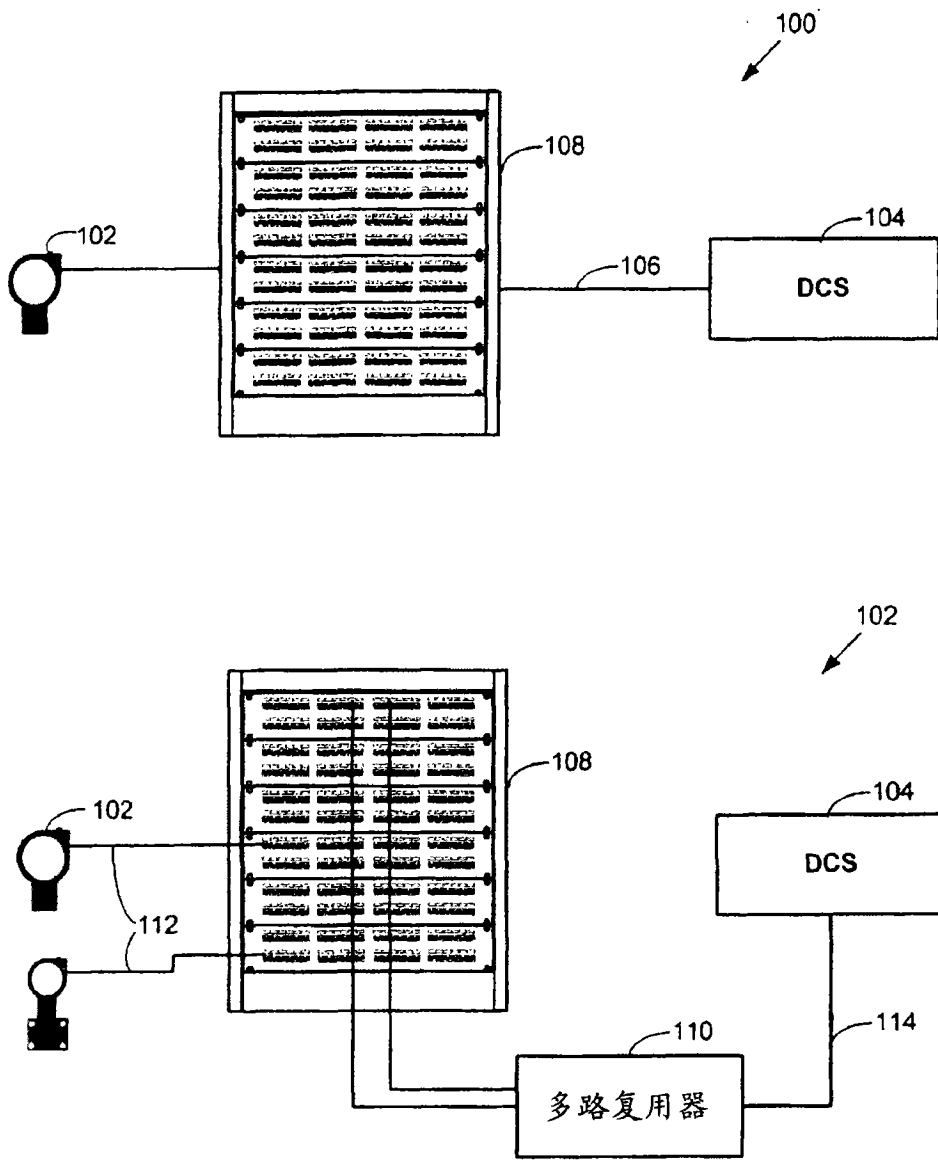


图3 (现有技术)

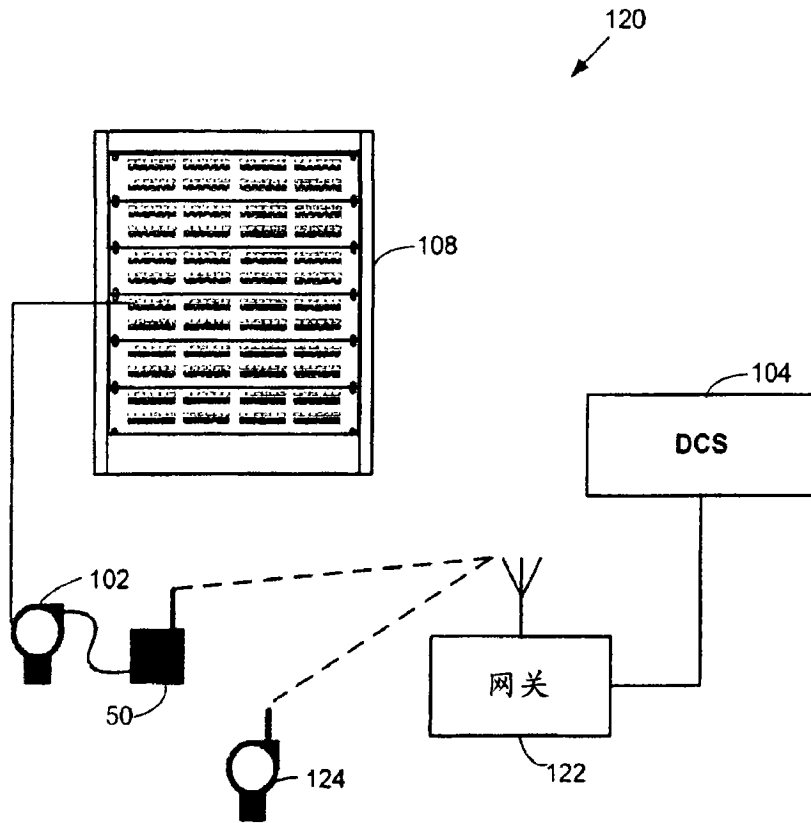


图 4

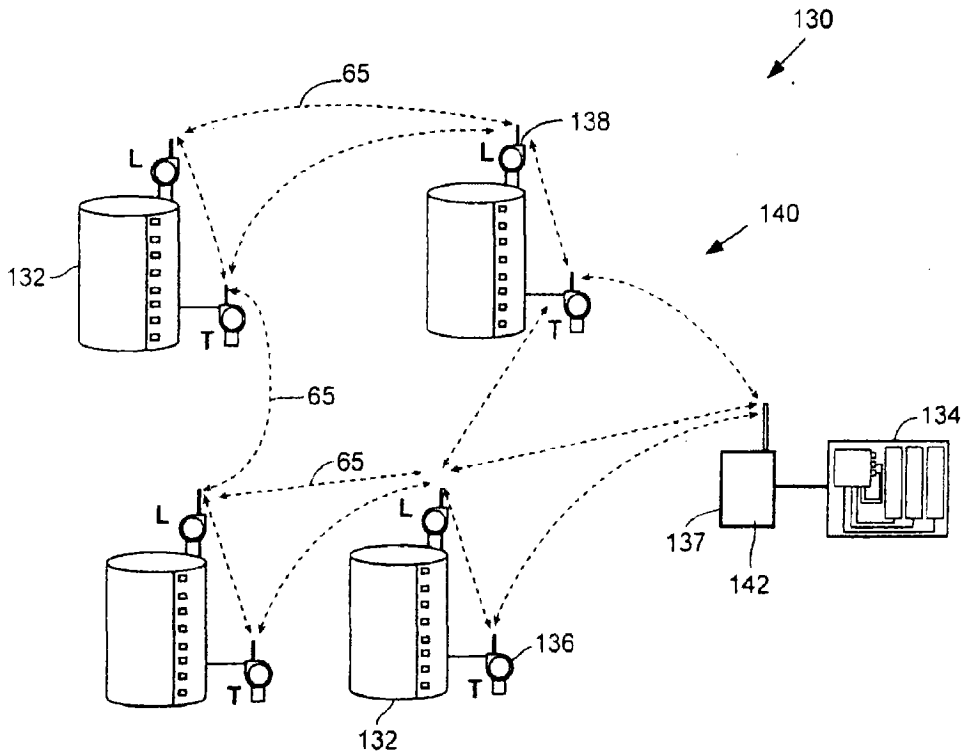


图 5

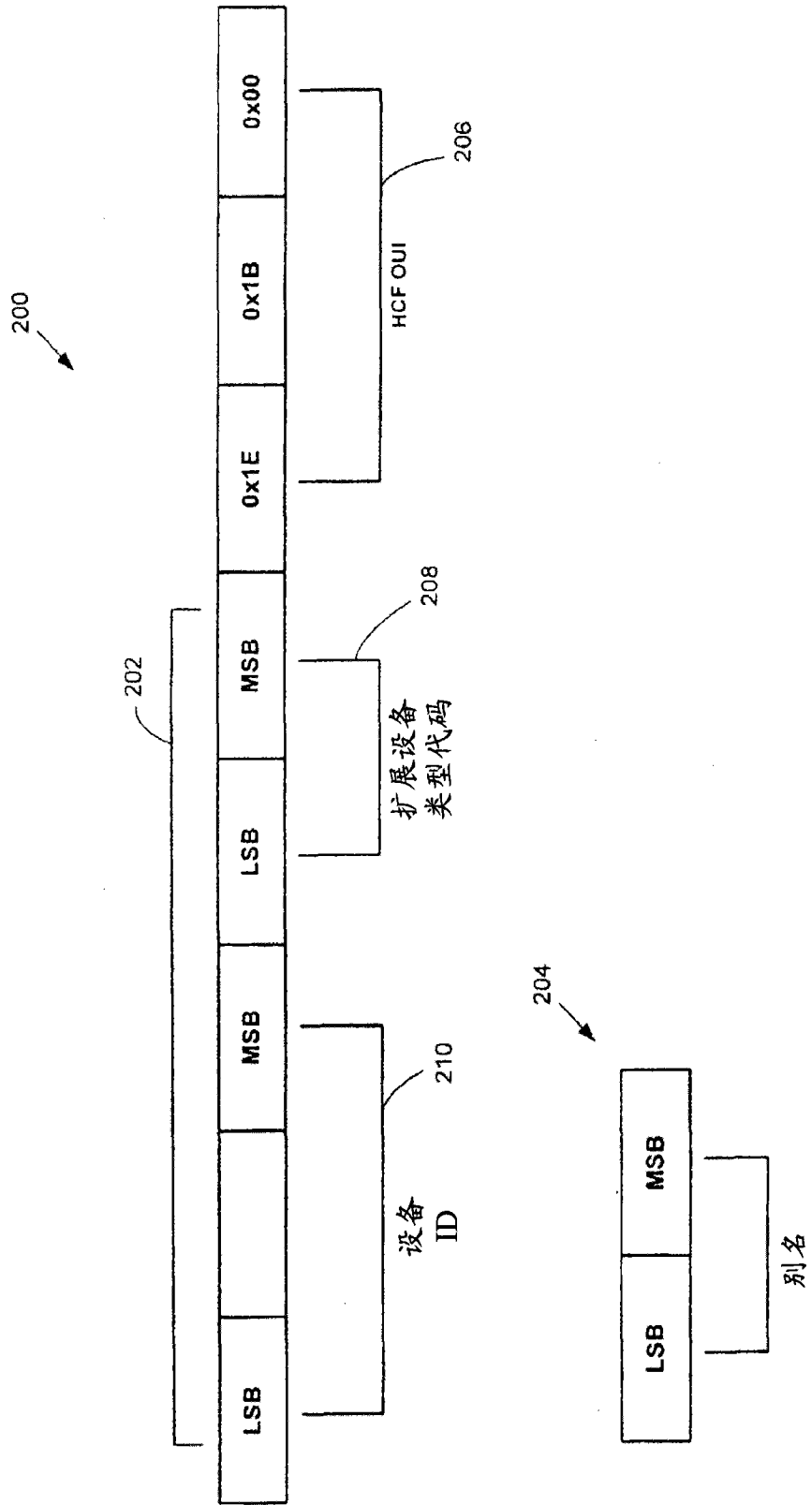


图 6

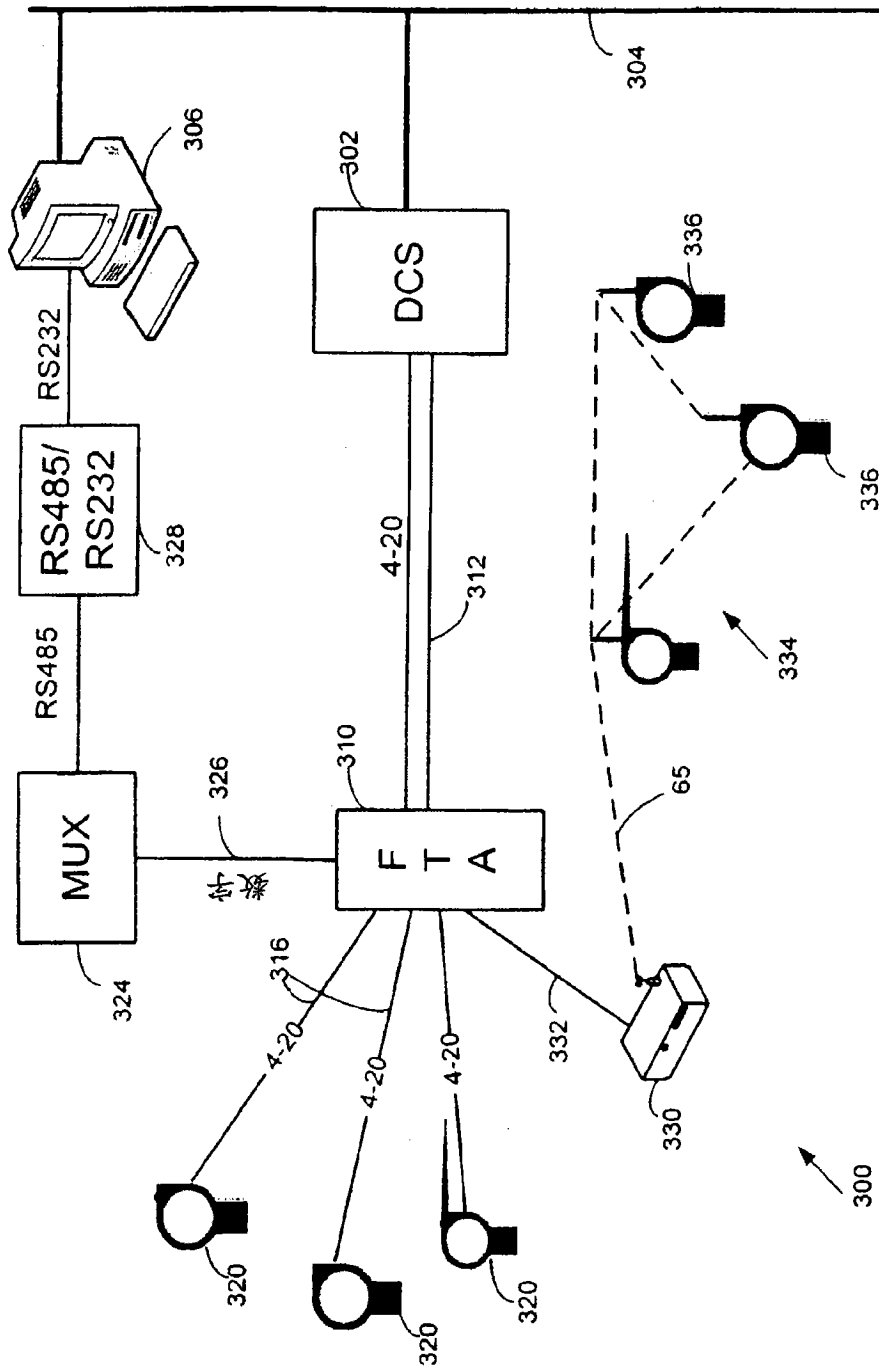


图 7

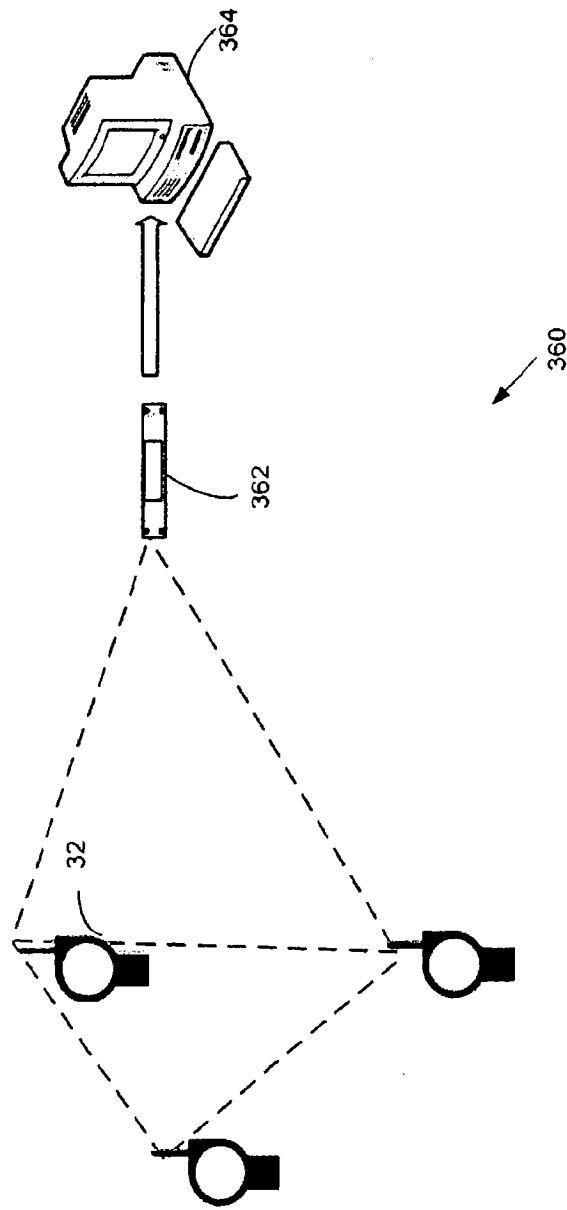


图 8

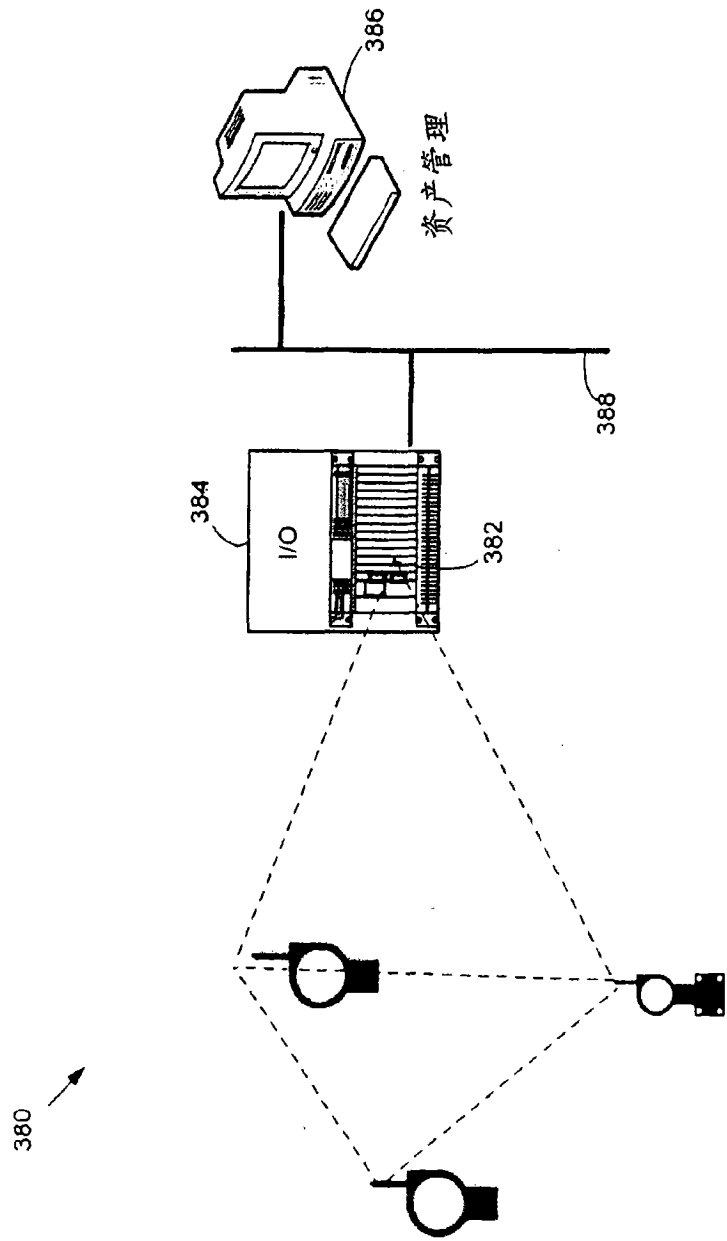


图 9

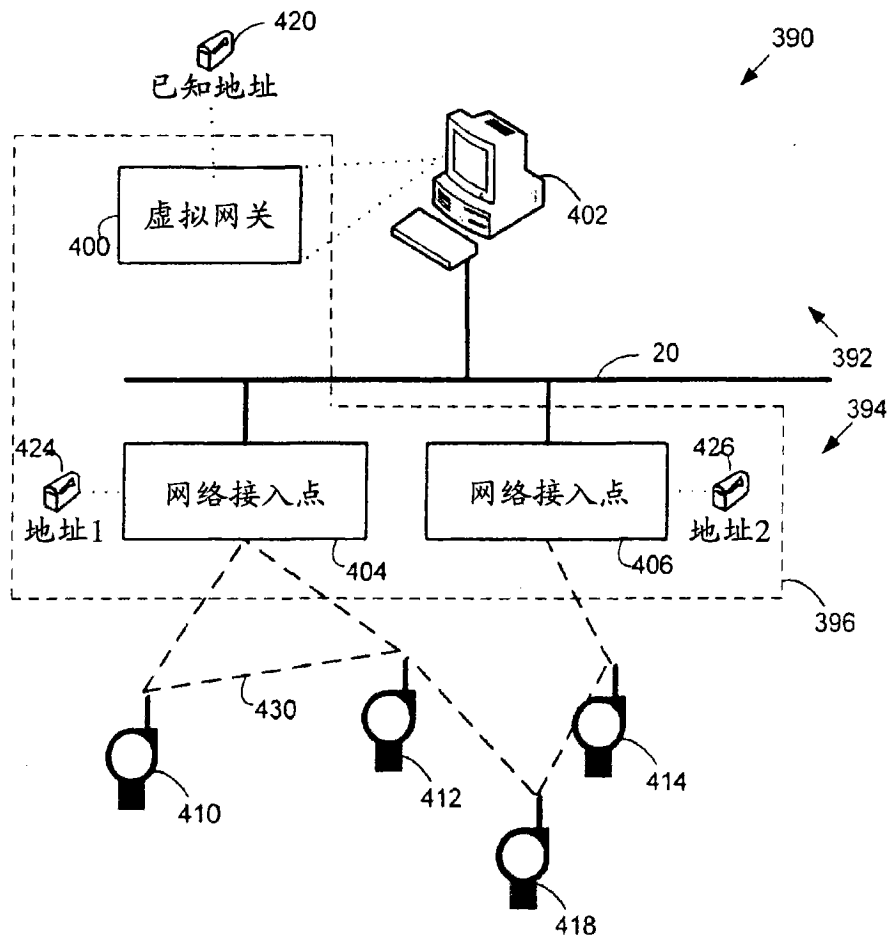


图 10

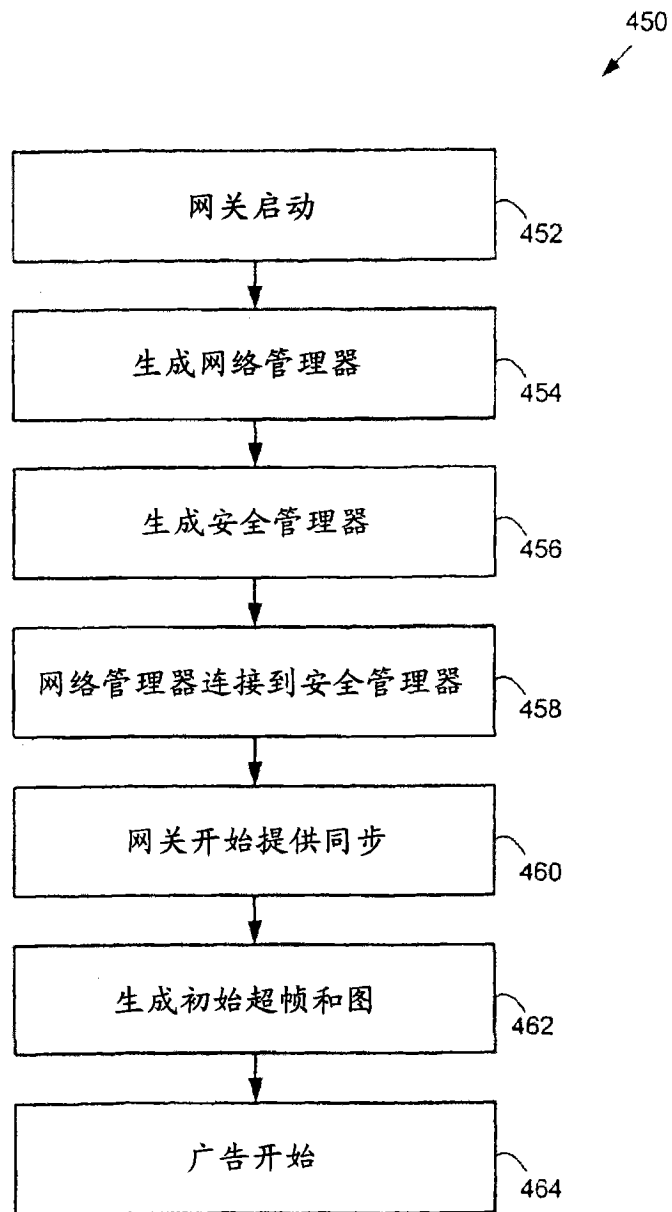


图 11

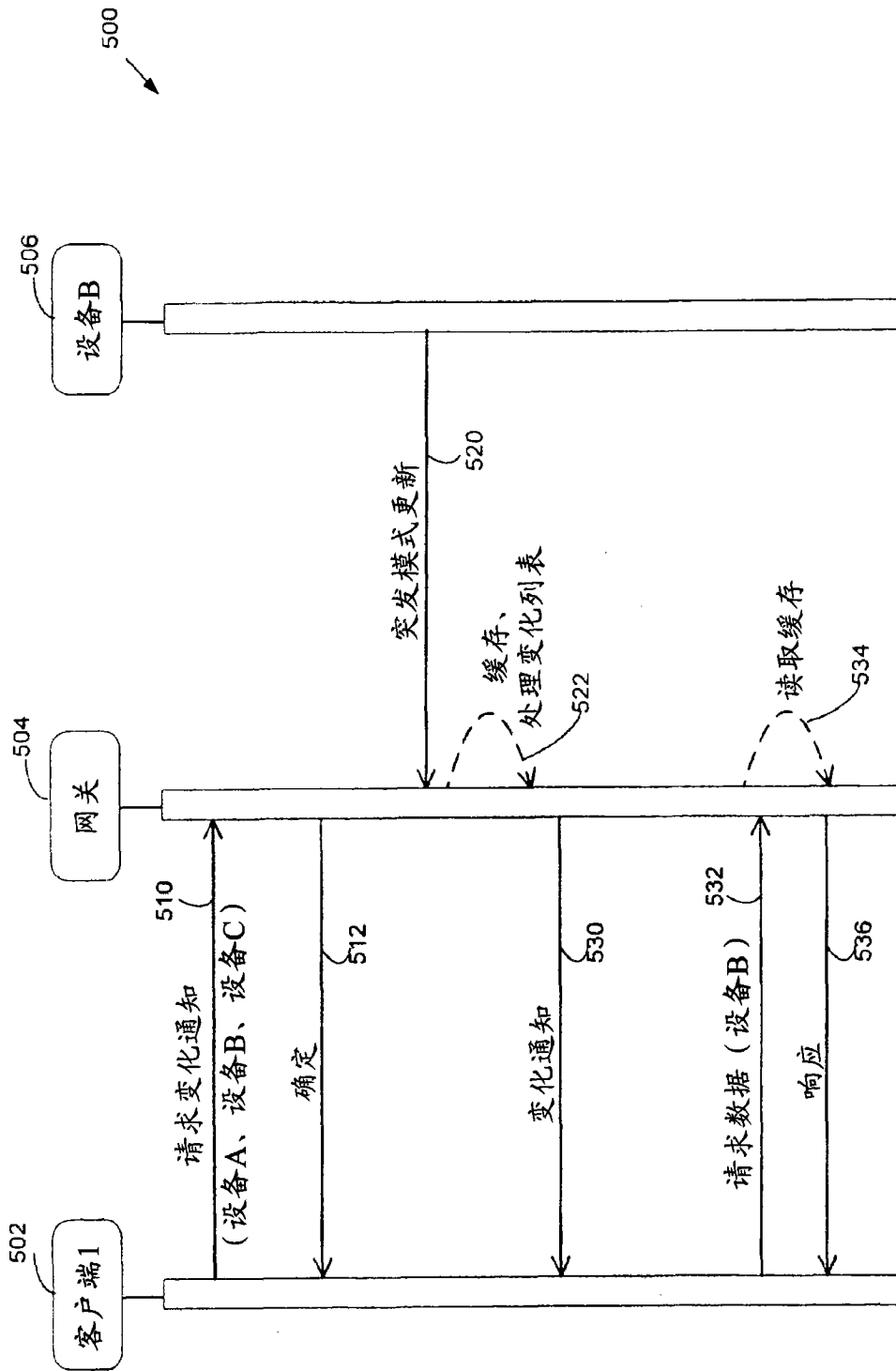


图 12

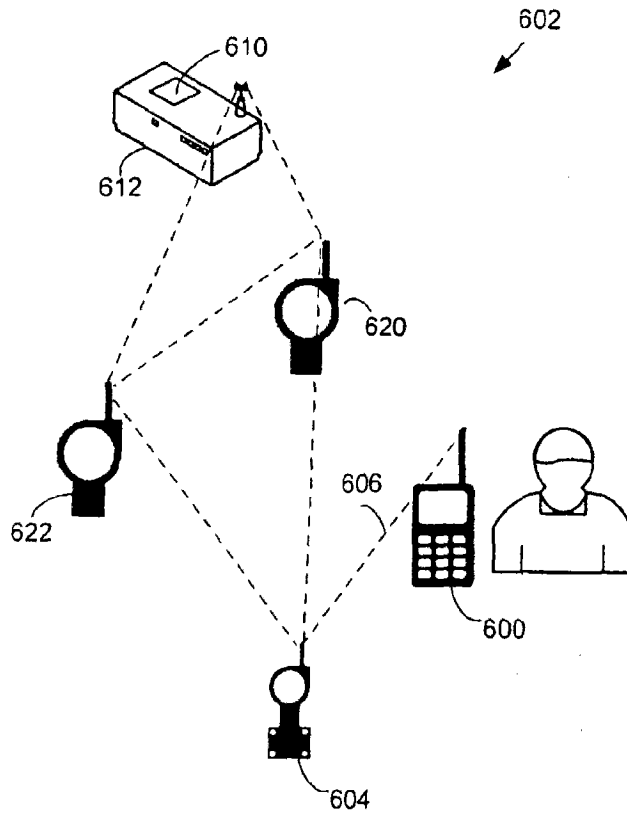


图 13