



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101401133 B

(45) 授权公告日 2014. 12. 10

(21) 申请号 200780008437. 8

(22) 申请日 2007. 01. 11

(30) 优先权数据

60/758, 167 2006. 01. 11 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2008. 09. 09

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2007/000690 2007. 01. 11

(87) PCT国际申请的公布数据

W02007/082018 EN 2007. 07. 19

(73) 专利权人 费希尔 - 罗斯蒙德系统公司

地址 美国得克萨斯州

(72) 发明人 帕特里克·M·杜卜罗斯基

埃里克·R·勒弗格伦

凯利·M·奥思 科尔·L·斯托兹

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任

公司 11021

代理人 王波波

(51) Int. Cl.

G08B 1/08 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 20050238058 A1, 2005. 11. 27, 全文.

US 6374311 B1, 2002. 04. 16, 说明书第 2 栏第 1 行 - 第 19 栏第 54 行、附图 1.

US 20050276153 A1, 2005. 12. 15, 全文.

WO 2004044862 A1, 2004. 05. 27, 说明书第 4 页第 20 行 - 第 16 页第 7 行、附图 1-9.

审查员 刘楠

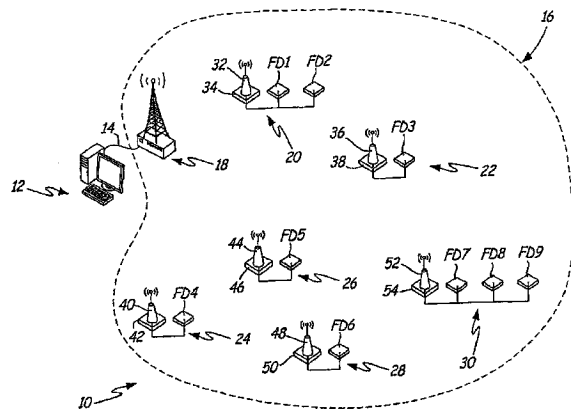
权利要求书2页 说明书12页 附图3页

(54) 发明名称

低功率无线网状网络中现场设备的选择性激活

(57) 摘要

控制系统使用无线网络在主机计算机和现场设备之间提供通信。现场设备通常保持在低功率或休眠状态。仅将参与与主机计算机通信的现场设备开启并保持其开启,直到现场设备和主机计算机之间的通信结束。



1. 一种工业过程控制系统,包括:

主机;

现场设备;以及

无线网络,用于在所述主机和所述现场设备之间路由无线消息,所述无线网络包括多个节点以及网关,其中,所述网关将所述主机提供的消息无线地传递至所述节点,并控制所述节点的开启/关闭激活调度表,

其中,响应于由所述主机发起的与选定的现场设备的通信时段,与所述选定的现场设备相关联的节点在激活调度表的开启/关闭循环中维持所述选定的现场设备处于全功率状态,直到所述主机与所述现场设备之间的通信完成,之后所述节点将所述选定的现场设备维持在低功率状态下,直到所述主机发起后续的通信时段。

2. 一种工业过程控制系统,包括:

多个现场设备;

主机,用于向现场设备发送控制消息并从所述现场设备接收响应消息;以及

无线网络,用于根据激活调度表在多个节点之间路由无线消息,每个现场设备与所述多个节点之一相关联,而且至少一个节点具有两个或更多个现场设备,其中,所述无线消息包括所述控制消息的内容和选定的现场设备的地址或来自所述选定的现场设备的响应消息的内容,与所述选定的现场设备相关联的节点仅响应于从所述主机寻址到所述选定的现场设备的控制消息而开启所述选定的现场设备,并且使与所述节点相关联的其他现场设备关闭,其中,与所述选定的现场设备相关联的节点在无线网络的开启/关闭激活循环中维持所述选定的现场设备处于开启状态,直到所述主机与所述选定的现场设备之间的通信完成,此时与所述选定的现场设备相关联的节点在关闭状态下关闭所述选定的现场设备,直到所述主机发起后续的通信时段。

3. 如权利要求2所述的系统,其中,与选定的现场设备相关联的节点在所述主机和所述选定的现场设备之间的通信结束时关闭所述选定的现场设备。

4. 如权利要求3所述的系统,其中,所述主机提供用于指示通信结束的控制消息。

5. 如权利要求3所述的系统,其中,与选定的现场设备相关联的节点通过所述主机和所述选定的现场设备之间的消息传送的非活动时段来识别通信的结束。

6. 一种通过无线网络在工业过程控制系统的主机和现场设备之间进行通信的方法,所述无线网络包括根据激活调度表而开启和关闭的多个节点,所述方法包括:

在所述主机处产生寻址至现场设备的控制消息;

产生包含所述控制消息的内容的无线消息,所述无线消息包括节点地址;

通过所述无线网络将所述无线消息发送到与所述现场设备相关联的被寻址的节点,其中,消息的发送由激活调度表来指示;

在被寻址的节点处接收所述无线消息;

从所述无线消息中提取所述控制消息的内容;

响应于所述控制消息,仅开启所述控制消息所寻址的现场设备;

将所述控制消息传送至所述现场设备;以及

不考虑节点的激活调度表,维持所述现场设备处于开启状态,直到所述主机与所述现场设备之间的通信完成,然后关闭所述现场设备;

在与所述多个节点相关联的激活调度表的开启 / 关闭循环中维持所述控制消息所寻址的所述现场设备处于开启状态,直到所述主机与所述现场设备之间的通信完成;以及关闭所述控制消息所寻址的所述现场设备,直到所述主机发起后续的通信时段。

7. 如权利要求 6 所述的方法,还包括:

在所述现场设备处产生响应消息;

产生包括所述响应消息的内容的无线消息;

通过所述无线网络发送具有所述响应消息的内容的无线消息;

接收具有所述响应消息的内容的无线消息;以及

将所述响应消息传送至所述主机。

8. 如权利要求 6 所述的方法,还包括:

维持所述现场设备处于开启状态,直到所述主机与所述现场设备之间的通信完成,然后关闭所述现场设备。

9. 如权利要求 8 所述的方法,还包括:

维持所述现场设备处于关闭状态,直到接收到寻址到所述现场设备的另一个控制消息。

10. 一种用于在具有多个节点和多个现场设备的无线网状网络中传送消息的方法,每个现场设备与所述多个节点之一相关联,其中,每个现场设备的开 / 关状态由与该现场设备相关联的节点来控制,所述方法包括:

根据全局激活调度表在激活期间激活节点以发送和接收消息;

产生基于在所述激活期间消息是否将被发送至现场设备而在调度表的所述激活期间控制开启哪些现场设备的命令;

在一个或更多个激活期间维持开启的现场设备处于开启状态,直到与所述现场设备的通信完成;

不考虑节点的全局激活调度表,维持将被发送消息的现场设备处于开启状态,直到与所述现场设备的通信完成;以及

产生开启所述现场设备直到发起与所述现场设备的后续通信时段的命令。

低功率无线网状网络中现场设备的选择性激活

技术领域

[0001] 本发明涉及无线网络。特别地,本发明涉及一种无线网状网络,其中,在主机和无线网状网络节点处的现场设备之间传送过程控制消息。

背景技术

[0002] 在许多工业环境中,控制系统被用来监测和控制存货、过程等。通常,这种控制系统包括具有主机计算机的集中式控制室,该主机计算机和控制室分离的或地理上有距离的现场设备通信。

[0003] 一般地,每个现场设备包括换能器,该换能器基于物理输入产生输出信号或基于输入信号产生物理输出。现场设备中所使用的换能器的类型包括各种分析仪、压力传感器、热敏电阻、热偶、应变仪、流传感器、定位器、致动器、螺线管、指示器等等。

[0004] 传统上,模拟现场设备由两线双绞线电流回路连接至过程子系统和控制室,每个设备由单个两线双绞线回路连接至控制室。典型地,在两线之间保持大约为 20-25 伏特的电压差,以及经过回路的 4-20 毫安 (mA) 的电流。模拟现场设备通过把经过电流回路的电流调制为与感测到的过程变量成比例的电流,向控制室发送信号。在控制器的控制下,过程子系统的端口调整经过回路的电流的大小,由此来控制模拟现场设备在控制室的控制下执行动作。

[0005] 然而历史上现场设备仅能执行一种功能,近年来,在电流回路上叠加数字数据的混合系统已经应用于分布式控制系统。高速可寻址远程换能器 (HART) 在电流回路信号上叠加数字载波信号。数字载波信号能被用来发送次级和诊断信息。载波信号上提供的信息的示例包括次级过程变量、诊断信息 (如传感器诊断、设备诊断、配线诊断、过程诊断等)、操作温度、传感器温度、校准数据、设备 ID 号码、配置信息等。因此,单个现场设备可包括多种输入和输出变量以及可实现多种功能。

[0006] 另一方法使用数字通信总线把多个现场设备连接至控制室中的主机。把现场设备连接至数字总线所使用的数字通信协议的示例包括 Foundation Fieldbus、Profibus、Modbus 和 DeviceNet。能够在与向现场设备供电的同一双线线路上提供主机计算机与多个现场设备之间的双向数字消息通信。

[0007] 典型地,通过从控制室到远程应用铺设很长的干线电缆 (homeruncable),向控制系统增加远程应用。例如,如果远程应用有半英里远,铺设这样一条长电缆涉及的成本会较高。如果需要铺设到远程应用的多条干线电缆,则成本变得甚至更高。无线通信提供了一种理想的选择,而且在工业过程控制系统中已经提出使用无线网状网络。然而,为了把成本减到最小,也希望保留现存控制系统和通信协议,从而减小与改变现存系统以适应无线通信相关联的成本。

[0008] 在为基于低功率传感器 / 致动器的应用设计的无线网状网络系统中,网络中的许多设备必须由长寿命电池或低功率能量采集 (energy-scavenging) 电源来供电。电源出口,比如 120 伏特交流电,典型地不是位于危险区域附近,或允许进入危险区域,仪器 (传感

器)和致动器必须位于没有带来巨大安装费用的区域。低安装成本的要求促使需要把电池供电设备通信作为无线网状网络的一部分。有效地利用有限的电源,如不能再充电的原电池,对于良好运转的无线设备来说是至关重要的。期望电池支持不少于5年,而且优选地与产品寿命一样长。

[0009] 在一个真实的无线网状网络中,每个节点必须能够为本身以及网状网络中的其它节点路由消息。消息经由网络从节点到节点跳跃的概念是有用的,原因是能使用低功率 RF 无线电装置,并且网状网络能跨越很大的物理区域,把消息从一端传送至另一端。在网状网络中不必使用大功率无线电装置,相反是使用点对点系统,该系统采用与集中式基站直接对话的远程节点。

[0010] 网状网络协议允许在节点之间以及节点与数据采集器、桥路或某些更高级别的更高速数据总线的网关之间形成消息传送的备选路径。提供备选、冗余的路径用于无线消息,通过保证至少有一条备选路径顺畅,即使其它路径由于环境影响或由于干扰变得拥塞或恶化,也能够提高数据的可靠性。

[0011] 某些网状网络协议的路由是确定的,使得每个节点被分配父亲(parent)和至少一个备选父亲。在网状网络的层级中,很像一个家庭,父亲有子女,子女有孙子女等。每个节点经由网络把其后代(descendant)的消息中继至某个最终目的地,如网关。父亲节点可以是电池供电或有限能量供电的设备。节点的后代越多,其需要路由的通信量就越多,这直接增加了其本身的功耗,并缩减了其电池的寿命。

[0012] 为了节约电力,有些协议限制任何节点在任何时段能处理的通信量的数量,这通过仅在有限时间内开启该节点的无线电装置以监听消息来实现。这样,为了降低平均功率,协议可允许无线电装置在开启与关闭状态之间循环工作(duty-cycling)。有些协议使用全局循环工作来节约电力,这样整个网络同时处于开启和关闭。其它协议(如基于TDMA)使用局部循环工作,其中仅链接在一起的通信节点对才会以同步的方式在预定时间开启和关闭。典型地,通过向节点对分配用于通信的指定时隙以及在所述时刻进行接收(Rx)和发送(Tx)的无线电装置所使用的射频信道,而预先确定该链接。

[0013] 某些协议使用了按照定期的重复调度表给节点分配链路的概念,因而能从网络中的设备定期传送更新和消息。一些先进的基于TDMA的协议可使用多个激活调度表的概念,这些多个调度表均在同时运行或当产生需要时由全局网络控制器激活/去激活(deactivated)特定的调度表。例如,慢速激活调度表把发送消息的节点与较长时间段(长的循环时间)链接,以实现低功耗。快速激活调度表为了较大的吞吐量和较小的等待时间而更快速地链接发送消息的节点,但导致节点中较大的功耗。对于允许多个激活调度表的协议,某些调度表可针对上游通信量而优化,某些可针对下游通信量而优化,而其它的协议可针对网络管理功能,如设备连接和配置,而进行优化。为了在不同的时间满足不同的需求,在整个网络中全局地激活/去激活各个调度表,从而提供少量的在功耗与小的等待时间之间达到有利平衡的灵活性,但是把相同的调度表应用于全部节点,这样不会提供局部优化。

[0014] 在同步系统中,节点在传送消息前必须等待,直到其下一个预定的开启时间才能发送。等待增加了等待时间,如果不能适当地限制和管理,在许多应用中可能非常有害。如果链接在一起的节点对没有正确地同步,由于无线电装置在错误的时间开启或在错误的时

间处于错误的模式 (Rx 或 Tx), 该节点对将不会成功地传送消息。如果仅有激活调度表具备长的循环时间, 那么被调度的链接之间的时间将会长并且将经受等待时间。如果激活了快速调度表, 则被调度的链接之间的时间将会短, 但电池的寿命将随着时间显著地减少。

[0015] 某些协议允许在后台运行慢速调度表, 而全局地激活 / 去激活额外的快速调度表。由于在整个网络中全局地激活快速调度表并从收到全局命令的全部节点返回确认需要时间, 在转变时间期间, 网络或子网络仍处于较差响应模式。另外, 使用全局激活快速调度表会在网络中所有父亲节点中消耗电力, 即使是那些其后代不会从快速调度表中受益的父亲节点也一样。这些无鉴别力 (unappreciative) 的父亲节点必须经常地监听全局快速激活调度表 (也就是经常地把其无线电装置开启至 Rx); 即使它们的后代没有额外消息发送, 定期的有效调度表对于网络中的该部分也是不够的。

[0016] 某些协议可能限制节点拥有后代的数量, 从而减小节点必须支持的负荷。其它协议可使用所有这些措施的组合以减小平均功耗。所有这些省电措施对网络中进行传送消息工作的节点的可用性都有减小作用, 因而增加了消息经由网络传递的等待时间。无线电装置的循环工作会增加等待时间。消息从节点到节点的跳跃增加等待时间。通过限制后代的数量而增加跳跃深度 (跳数), 从而增加等待时间。运行慢速激活调度表 (长的循环时间) 增加等待时间。甚至全局地激活快速激活调度表也要花费时间。信息的价值可能随时间而减小, 因此, 等待时间越长, 信息的价值可能越低。

[0017] 对协议加以改进以减小功耗和等待时间之间的权衡是非常有价值的, 原因是其允许相同的协议用于多种不同的末端应用, 而无需用户干预和配置。在全局优化上提供局部优化的改进更有灵活性且更有价值。

发明内容

[0018] 为了节约无线网状网络中的电力, 网络中的节点与定义何时能发送和接收消息的定期激活调度表同步。每个节点与至少一个现场设备相关联。

[0019] 当无线网络处于激活或开启期间时, 只有那些在激活期间向其发送消息的现场设备才会开启至激活或全功率状况。那些不接收消息的现场设备不会被开启, 从而节省网络中的电力。

附图说明

[0020] 图 1 为示出控制系统的示意图, 该控制系统中无线网状网络在主机与现场设备之间路由无线消息。

[0021] 图 2 为图 1 中的控制系统的一部分的框图, 包括主机计算机、网关节点、和具有现场设备的无线节点。

[0022] 图 3 为示出由无线网络所传送的无线消息的格式的示意图。

[0023] 图 4 示出了从主机到现场设备的基于控制系统协议的控制消息的格式。

[0024] 图 5 示出了被修改以形成图 3 所示的无线消息的有效载荷的控制消息的一个实施例。

[0025] 图 6 示出了被修改以形成图 3 所示的无线消息的有效载荷的具有尾部的控制消息的另一个实施例。

具体实施方式

[0026] 图 1 示出了控制系统 10, 包括主机计算机 12、高速网络 14、和无线网状网络 16, 所述无线网状网络包括网关 18 和无线节点 20、22、24、26、28 以及 30。网关 18 经由高速网络 14 把网状网络 16 与主机计算机 12 接口连接。消息可经由网络 14 从主机计算机 12 传送到网关 18, 然后通过许多不同路径中的一种传送到网状网络 16 中的一个被选定的节点。相似地, 来自网状网络 16 中单个节点的消息在网状网络 16 中通过许多不同路径中的一种从节点到节点路由, 直至该消息到达网关 18, 然后经由高速网络 14 传送到主机 12。

[0027] 控制系统 10 可以使用为有线分布式控制系统设计的和在其中使用的现场设备, 以及专门设计为在无线网状网络中使用的无线发射机的现场设备。节点 20、22、24、26、28 以及 30 示出了包括传统现场设备的无线节点的示例。

[0028] 无线节点 20 包括无线电装置 32、无线设备路由器 (WDR) 34、和现场设备 FD1 以及 FD2。节点 20 是包含一个唯一的无线地址和两个唯一的现场设备地址的节点的示例。

[0029] 节点 22、24、26、和 28 是示出包含一个唯一的无线地址和一个唯一的现场设备地址的各个示例。节点 22 包括无线电装置 36、无线设备路由器 38、和现场设备 FD3。相似地, 现场设备 24 包括无线电装置 40、无线设备路由器 42、和现场设备 FD4; 节点 26 包括无线电装置 44、无线设备路由器 46、和现场设备 FD5, 以及节点 28 包括无线电装置 48、无线设备路由器 50、和现场设备 FD6。

[0030] 节点 30 包含一个唯一的无线地址和三个唯一的现场设备地址。该节点包括无线电装置 52、无线设备路由器 54、和现场设备 FD7、FD8、和 FD9。

[0031] 无线网络 16 优选地是一个低功率网络, 其中许多节点由长寿命电池或低功率能量采集电源来供电。可根据网状网络的配置提供经由无线网络 16 的通信, 其中, 消息通过网络 16 从节点到节点传送。这允许使用低功率射频无线电装置, 同时允许网络 16 跨越很大的物理区域把消息从网络的一端传送到另一端。

[0032] 在包括现场设备的低功率无线网络中, 通过把整个网络和现场设备置于低功率 (关闭或休眠) 状态而节约电力。网络切换至高功率 (开启或激活) 状态, 这样主机计算机能与现场设备交互。例如, 可为无线网络设立定义全部节点何时开启以接收和发送消息的全局工作循环 (duty cycle)。

[0033] 然而, 当无线网络激活时, 如果在无线网络的该开启或激活期间, 只有一部分现场设备将被使用, 那么激活全部现场设备是浪费的。用于激活那些将不参与通信的现场设备的电力浪费了节点处的可用能量, 这会影响电池的寿命。

[0034] 另外, 如果只有有限数目的现场设备将参与通信, 那么至少无线网络中的某些节点将不需要, 因为其不在现场设备和主机计算机之间通过无线网络的可能的通信路径上。维持无线电装置开启以接收消息, 而又不会接收到任何消息, 会浪费能量并影响电池的寿命。

[0035] 控制系统 10 可微管理 (micro-manage) 现场设备的开启和关闭以及无线节点的开启和关闭, 所以只有那些通信所必须的节点和现场设备才需要保持在全功率。同时, 当期望与主机计算机 12 通信时, 控制系统 10 能保证那些需要处于全功率的现场设备和节点保持在开启状态。

[0036] 在控制系统 10 中,存在主机计算机可能需要延长的时间段与特定的现场设备进行通信的情况。例如,在控制系统 10 启动时,主机计算机 10 可进行查询,以探测存在的每个现场设备,并从每个现场设备获取所有存储的参数和配置数据。在这个过程中,主机计算机 12 和每个独立的现场设备 FD1-FD9 之间将发送多个消息。另一个示例是在主机计算机 12 需要配置现场设备 FD1-FD9 中之一时。需要传送的配置数据的数量造成了主机计算机 12 和将被配置的特定的现场设备之间的多个消息。

[0037] 在任一情况下,当无线网络 16 开启时,开启全部现场设备 FD1-FD9,而只有一个现场设备可能参与通信,那么这样的效率将不高。控制系统 10 通过维持全部的现场设备处于休眠或关闭状态,直到从主机计算机 12 接收到寻址到特定的现场设备的控制消息,来解决上述问题。在这个时刻,该节点处的无线设备路由器(WDR)向所寻址的现场设备提供电力。例如,响应于从主机计算机 12 接收到寻址到现场设备 FD3 的控制消息,节点 22 的 WDR38 向现场设备 FD3 开启电力。

[0038] 在无线节点拥有多于一个现场设备的情况下,开启一个现场设备可能需要开启该节点处的全部现场设备。例如,如果节点 20 处的现场设备 FD1 和 FD2 与 WDR 34 共享公共的电力和通信总线,则当电力施加到该总线时,现场设备 FD1 和 FD2 都将开启。

[0039] 一旦现场设备加电,期望保持该现场设备处于全功率状态直到主机计算机 12 完成与该现场设备的通信。即使无线网络 16 根据调度工作循环而循环地开启和关闭,只要当前的通信在继续,则期望维持与主机计算机 12 通信的现场设备处于全功率状态。取决于现场设备的类型,响应于来自主机计算机的控制消息,现场设备可能需要仅仅几秒至多达 60 秒以达到全功率状态。

[0040] 当从主机计算机 12 接收到要求所寻址的现场设备开启的控制消息时,该控制消息可包括用于维持现场设备在特定的时间段处于全功率开启状态的命令,该时间段由主机计算机 12 指定,这是完成所计划的通信所必须的时间。备选地,所述命令用于维持现场设备处于开启状态,直到与主机计算机 12 的交互已经停止。这可由与现场设备相关联的无线设备路由器确定,该无线设备路由器从主机计算机 12 接收控制消息,并将其路由至现场设备,而且还从现场设备接收发送回主机计算机 12 的响应。当有一段时间没有出现消息时,无线设备路由器自动地关闭现场设备。

[0041] 通过独立地控制单个现场设备 FD 1 FD9 的电力状态,控制系统 10 减少了无线网络 16 的总功耗,特别是网络 16 的单个节点 20-30 处的功耗。通过只在现场设备与主机计算机 12 的通信停止后,将该现场设备返回到低功率状态,增强了控制计算机 12 与特定的现场设备之间的响应度(responsiveness)。避免了现场设备在全功率(开启)和低功率(关闭)状态之间不希望的转换。

[0042] 节约无线网络 16 中的节点 20-30 处的电力的另一种方法是:通过允许那些将不参与通信的节点进入低功率(关闭)状态,而那些参与通信的节点保持在延长的高功率(开启)状态,使得主机计算机 12 能完成其与选定的现场设备的通信。

[0043] 在无线网状网络中,典型地,消息从节点到节点传送。典型地,将存在无线消息的备选、冗余路径。当消息被引导至无线网状网络 16 中特定的现场设备时,多个节点可能参与该消息的接收和发送以使其到达最终目的地。例如,考虑目的地为节点 30 处的现场设备 FD7 的消息。至节点 30 的无线消息的路径可以从网关 18 经过节点 20 和 22 到达节点 30。

备选地,该消息可经过节点 26 到达节点 30,或经过节点 24 和 28 到达节点 30。对于来自现场设备 FD7 的响应消息,可存在类似的返回路径,该响应消息从节点 30 发送至网关 18,然后到达主机计算机 12。如果主机计算机 12 和现场设备 FD7 之间的通信发生在从网关 18 经过节点 26 到达节点 30 的路径上,并且沿着相同的路径返回,那么只要该通信仅涉及主机计算机 12 和现场设备 FD7,则其它节点 20、22、24 和 28 是不需要的。

[0044] 网关 18 接收主机计算机 12 希望通过无线网络 16 而发送的消息。当无线网络 16 出现高功率(开启)状态时,网关 18 向将参与接收和发送来自主机计算机 12 的消息的每个节点发送消息,指示这些节点在指定时间段中、或直至通信结束而保持开启。网关 18 通过维护关于网络 16 内的信号路由路径的信息来确定将参与通信的节点。网关 18 能周期性地询问每个节点,以确定节点已经与其它邻近节点建立的用于发送和接收消息的链路。基于该信息,网关 18 可确定来自主机计算机 12 的消息的可能路径,并使用该路径向所需的节点提供指令。那些没有接收到来自网关 18 的用于指示其停留在开启状态的消息的节点在通信工作循环的正常高功率(开启)状态结束时将自动地关闭。只要主机计算机 12 与至少一个现场设备继续通信,则余下的已被指示保持开启的设备将保持高功率(开启)状态。

[0045] 备选地,网关 18 可以向不会参与所计划的通信的每个节点提供消息,以指示这些节点关闭。没有接收到关闭指令的任何节点将保持开启。然而,这种方法会导致节点保持开启,即使其不会参与通信,仅仅因为其没有接收到用于关闭的消息。

[0046] 另一种用于管理哪些节点保持开启以及哪些节点关闭的方式要求在通信工作循环的正常高功率(开启)部分期间接收到消息和发送消息的任何现场设备保持开启,直到其从网关 18 接收到通知其关闭的消息,或者是在某个时间段中该节点没有接收或发送另外的消息。这样,网络 16 动态地配置自身,从而保持需要保持开启的节点开启,使得能够路由消息至目标现场设备并路由来自目标现场设备的消息。那些不参与通信的节点将在工作循环的高功率(开启)部分结束时自动地关闭。

[0047] 允许随着延长的开启状态继续通信涉及只是那些参与通信的节点,这意味着减小了等待时间并改善了通信,而不会持久地导致无线网络 16 停留在开启状态。当通信停止时,在延长的开启状态期间曾经参与通信的节点将重新与无线网络 16 的正常关闭/开启通信工作循环同步。

[0048] 在有线控制系统中,使用根据公知的控制消息协议的控制消息进行主机计算机与现场设备之间的交互,该协议例如是 HART、FoundationFieldbus、Profibus 等。有线控制系统中使用的现场设备(如图 1 所示的现场设备 FD1-FD9)使用根据已知控制消息协议之一的控制消息。无线节点 20-30 是无线网络 16 的一部分,不能直接与主机计算机 12 交换这些已知的控制消息,这是因为经由网络 16 的无线通信是根据本质上通用的无线协议而进行。

[0049] 比要求主机计算机 12 与现场设备 FD1-FD9 使用无线协议通信更好的做法是,可以提供一种方法以允许在主机计算机 12 与现场设备 FD1-FD9 之间经由无线网络 16 发送和接收公知的现场设备控制消息。公知的现场设备控制消息被嵌入至通用无线协议,所以可在主机计算机 12 与现场设备 FD1-FD9 之间交换控制消息,从而实现与现场设备 FD1-FD9 交互的控制。结果,无线网络 16 及其无线通信协议对主机计算机 12 和现场设备 FD1-FD9 实质上是透明的。在下文的描述中,将使用 HART 协议作为已知的控制消息协议的示例,尽管本发明也可应用于其它控制消息协议(如 Foundation Fieldbus、Profibus 等)。

[0050] 一个相似的问题涉及主机计算机 12 所使用的地址,用于将消息引导至现场设备 FD1-FD9。在有线系统中,主机计算机给每个现场设备编址一个唯一的现场设备地址。该地址被定义为所使用的特定通信协议的一部分,并典型地构成由主机计算机发送至现场设备的控制消息的一部分。

[0051] 当无线网络,如图 1 所示的网络 16,用于从主机计算机将消息路由至现场设备时,主机计算机所使用的现场设备的地址与无线网络通信协议所使用的无线地址不兼容。另外,单个无线节点可关联若干现场设备,如图 1 中所示的无线节点 20 和 30。无线节点 20 包括两个现场设备 FD1 和 FD2,而无线节点 30 关联了三个现场设备 FD7-FD9。

[0052] 一种解决地址的方法是要求主机计算机 12 使用无线地址而不是使用现场设备地址。然而,这种方法要求主机计算机 12 根据其是经由有线通信链路与现场设备通信,还是至少部分地经由无线网络进行通信,而不同地编程。另外,仍然存在多个现场设备的问题,这些现场设备典型地拥有不同的用途,并且这些多个现场设备需要单独地编址。

[0053] 一种备选方法使用网关 18 把由主机计算机 16 提供的现场设备地址转换为相应的无线地址。无线消息被发送到无线地址,也包括现场设备地址,所以接收消息的节点可以把消息引导至适当的现场设备。通过把现场设备地址转化为相应的无线地址,当与现场设备交互时,主机计算机 12 可在其本地 (native) 现场地址域内运行。无线网络 16 的存在对主机计算机 12 和现场设备 FD1-FD9 是透明的。

[0054] 由使用无线网络 16 在主机计算机 12 与现场设备 FD1-FD9 之间通信引发的另一个问题是,由于电力节约而导致的现场设备的不可用。在有线控制系统中,主机计算机与现场设备之间的交互如同一有请求便可使用一样。假定现场设备总是加电并可用。

[0055] 在低功率无线网络中,这种情况不成立。为了节约电力,低功率无线网络中的现场设备大多数时间是不可用的或休眠的。周期性地,无线网络进入非休眠状态,在这期间,消息可以传送至现场设备以及可以从现场设备传来消息。经过一段时间后,无线网络再一次进入低功率休眠状态。

[0056] 如果主机计算机企图在无线网络处于休眠状态、或特定的现场设备处于低功率休眠状态期间通信,现场设备未能立即响应可能被主机计算机解释为通信失败。主机计算机无法确定消息经由无线网络所采取的特定路由,也无法控制无线通信的加电和断电周期。结果,主机计算机把现场设备的不响应解释为设备故障,而缺少响应是低功率无线网络中通信方式的固有结果。

[0057] 为了使无线网络 16 的存在对主机计算机 12 透明,网关 18 对主机计算机 12 与无线网络 16 之间的现场设备消息传输去耦 (decouple)。网关 18 确定无线网络 16 的当前状态并追踪其电力周期。另外,网关 18 维持关于响应时间的信息,该响应时间是现场设备开启,然后准备好向来自主机计算机 12 的控制消息提供响应消息所需的时间。

[0058] 当主机计算机 12 给网关 18 提供消息时,基于现场设备地址,确定期望的响应时间。该期望的响应时间提供给主机计算机 12,所以主机计算机 12 将不对期望响应时间过去之前响应消息的缺失视为通信失败。结果,允许主机计算机把现场设备 FD1-FD9 看作一有请求便可使用一样,然而实际上无线网络 16 和现场设备 FD1-FD9 不是一有请求便可使用。

[0059] 图 2 示出了图 1 所示控制系统 10 的一部分的框图。图 2 示出了主机计算机 12、高速网络 14,网关 18、和无线节点 22。

[0060] 在图 2 中,主机计算机 12 是分布式控制系统主机,该主机运行应用程序从而帮助把消息发送至现场设备 FD1-FD9,以及接收和分析包含在来自现场设备 FD1-FD9 的消息中的数据。主机计算机 12 可使用如 AMS(tm)Device Manager 作为应用程序,从而允许用户监测现场设备 FD1-FD9 以及与其交互。

[0061] 主机计算机 12 使用可扩展标记语言 (XML) 格式的消息与网关 18 通信。计划用于现场设备 FD1-FD9 的控制消息按照 HART 协议来表示,并以 XML 格式传送至网关 18。

[0062] 在图 2 所示的实施例中,网关 18 包括网关接口 60、网状管理器 62、和无线电装置 64。网关接口 60 从主机计算机 12 接收 XML 文档,提取 HART 控制消息,并把控制消息修改成要嵌入到经由无线网络 16 传送的无线消息中的格式。

[0063] 网状管理器 62 使用嵌入的 HART 控制消息,以及与 HART 消息指向的现场设备所对应的节点的无线地址,来形成无线消息。网状管理器 62 可维护例如查找表,该查找表把每个现场设备地址与该现场设备地址所对应的现场设备所在节点的无线地址相关联。在本示例中,所感兴趣的现场设备是位于无线节点 22 的设备 FD3。根据无线协议的无线消息包括无线节点地址,该地址用来路由无线消息通过网络 16。嵌入在无线消息中的 HART 消息包含现场设备地址,并且该地址不是用来路由无线消息通过网络 16。相反,现场设备地址是在当无线消息到达目的节点时使用。

[0064] 网状管理器 62 使得无线电装置 64 传输无线消息,所以,该无线消息将通过网络 16 中的一个或多个跳跃从而到达节点 22。例如,目的节点是节点 22 的消息可由网关 18 发送至节点 20,然后至节点 22,或备选地从网关 18 至节点 26 然后至节点 22。在网络 16 中,其它路由也是可能的。

[0065] 网关接口 60 与网状管理器 62 也与主机计算机 12 交互,管理发送控制消息至现场设备,好似无线网络 16 即使断电时也像加电一样(即休眠模式)。网状管理器 60 测定无线网络 16 正确的电力状态。为了测定未来无线网络 16 将从加电到断电,或从断电到加电的状态改变的时间,网状管理器 60 还计算电力循环的时间。如果在加电时给无线网络发送消息,但是直到下一个加电周期才发出响应,则响应时间可能受到影响。仍存在的另一个因素是现场设备的启动时间。网状管理器 62 或网关接口 60 可维护保存各个现场设备的启动时间的数据库。依据知道的现场设备地址,就能确定期望的启动时间。

[0066] 基于无线网络 16 的当前电力状态、无线网络将改变状态之前的时间大小、现场设备的启动时间、期望的网络消息路由时间、和在下一个加电周期而不是当前周期发生响应的可能性,可计算把消息传送至现场设备的估计时间以及向网关 18 返回响应消息所需的估计时间。然后把该信息提供给主机计算机 12。由于主机计算机 12 在估计响应时间之前不会期望响应,因此,在该时间之前接收消息的失败将不会被主机计算机 12 视为通信失败或现场设备故障。

[0067] 基于影响响应时间的因素,假设知道无线网络 16 的电力周期,则网关 18 也可确定与现场设备尝试通信的最佳策略。例如,如果电力周期即将从开启改变到关闭,较好的策略可能是等待,直到下一个加电周期开始时再开始把消息路由通过无线网络 16。

[0068] 如图 2 所示,无线节点 22 包括无线电装置 36、无线设备路由器 (WDR) 38、和现场设备 FD3。在这个具体示例中,现场设备 FD3 是标准的 HART 现场设备,该设备使用 HART 控制消息协议传送现场数据。现场设备 FD3 由 WDR38 加电或断电,并直接与 WDR38 进行通信。

[0069] 经由网络 16 传送的无线消息由节点 22 的无线电装置 36 接收。WDR38 检查无线消息,察看其是否为寻址至节点 22。由于节点 22 是目的地址,因此无线消息被打开,并提取嵌入的 HART 消息。基于包含在嵌入的 HART 消息中的现场设备地址,WDR38 确定该 HART 消息的目的现场设备是现场设备 FD3。

[0070] 由于省电的原因,WDR38 可维持现场设备 FD3 处于休眠模式,直到需要采取某些动作。一旦接收到包含在无线消息中的 HART 消息,WDR38 采取步骤启动现场设备 FD3。这可能大约仅是几秒钟,或可是,例如,大约 30-60 秒的延迟。当现场设备 FD3 准备好接收 HART 消息并对其采取行动时,WDR38 把 HART 控制消息传送至现场设备 FD3。

[0071] 由现场设备 FD3 接收的消息可要求提供包括测量数据或其它状态信息的响应消息。现场设备 FD3 采取必要的动作收集测量数据或产生状态信息,以 HART 控制格式生成响应消息,并把该消息传送至 WDR38。然后,修改该 HART 响应消息并将其嵌入根据无线协议的无线响应消息,并定址向网关 18。WDR38 把无线响应消息提供给无线电装置 36,用来在无线网络 16 上传输。然后,无线响应消息通过一个或若干跳跃传送至网关 18,在网关 18,从无线响应消息中提取出 HART 响应消息,以 XML 格式化,并经由高速网络 14 传送至主机计算机 12。

[0072] 图 3 示出经由如图 1 和 2 所示的无线网络发送的典型无线消息的示意图。无线消息 70 包括无线协议比特 72、有效载荷 74、和无线协议比特 76。协议比特 72 和 76 是通过网状网络 16 恰当地路由无线消息 70 到达所期望的目的地所必需的。有效载荷 74 表示所传送控制消息的内容。在本发明中,控制消息(按照主机计算机 12 和现场设备 FD1-FD9 两者都使用的控制消息协议)被嵌入到无线消息 70 中作为有效载荷 74。

[0073] 图 4 示出了由主机计算机 12 产生的控制消息 80 的格式。在本具体示例中,控制消息 80 使用 HART 协议来配置。控制消息 80 包括前同步码 82、定界符 84、现场设备地址 86、命令 88、字节计数 90、数据 92、和校验字节 94。控制消息 80 在网关接口 60 处被修改,并接着被嵌入到无线消息 70 中作为有效载荷 74。

[0074] 图 5 示出由控制消息 80 形成的有效载荷 74 的格式。为了产生有效载荷 74,接口 60 从控制消息 80 中删掉物理层开销,并增加次序信息。

[0075] 如通过对比图 4 与图 5 所示,有效载荷 74 与控制消息 80 的第一个区别是删掉了前同步码 82。由于控制消息将经由使用无线协议的网络传送,所以没有必要使用前同步码。前同步码的删除由于减少了不必要的信息,提高了网络 16 的效率。

[0076] 有效载荷 74 与控制消息 80 的第二个区别是增加了消息 ID96,该消息 ID 位于数据 92 之后以及校验字节 94 之前,是一个双字节的数字。前同步码 82 的删除以及消息 ID96 的增加需要重新计算校验字节 94。

[0077] 消息 ID96 的用途是丢弃旧(stale)消息。这允许消息接收方丢弃失序(out of order)的消息。无线网状网络 16 被设计为消息可采取多条路径到达其目的地。消息从一个节点传送到另一个节点,然而在某个节点消息可能被延迟。这可能由干扰或拙劣的信号质量引起。如果消息延迟了很长时间,主机 12 可发出重试和/或新消息。在该情况下,在延迟消息被传送之前,一个或多个消息可能到达该目的节点。当传送延迟的控制消息时,可使用消息 ID96 接受或丢弃该控制消息。

[0078] 图 6 示出了有效载荷 74 的格式的第二实施例,其中尾部(trailer)功能代码 98

和尾部有效载荷（或消息 ID）96 形成尾部结构 100，该尾部结构 100 附加到由定界符 84、现场设备地址 86、命令 88、字节计数 90、数据 92、和校验字节 94 形成的控制消息的尾部。尾部 100 不包括在校验字节 94 中，相反取决于无线网络协议层，以便数据的完整性和可靠性。

[0079] 尾部 100 包含功能代码 98 和有效载荷 96（若有的话，该有效载荷包括消息 ID）。功能代码 98 是无符号字节，该字节定义尾部 100 的内容，无符号有效载荷字节，如附加的字节填充，将被忽略。尾部 100 的使用仅应用于网关 18 与无线现场设备 FD1-FD9 之间的消息。表 1 示出了为尾部 100 定义的功能代码的示例：

[0080]

功能代码	含义	有效载荷长度和描述
0	无消息 ID(NO MESSAGE ID)	0-2 字节（可选择填充）
1	强制接受 (FORCE ACCEPT)	2 字节 - 消息 ID
2	强制清除强制接受 (CLEAR FORCE ACCEPT WITH FORCE)	2 字节 - 消息 ID
3	常规消息 ID(NORMAL MESSAGE ID)	2 字节 - 消息 ID

[0081] 功能代码 0-3 关于消息 ID 而使用。消息 ID 用于无线网状网络 16 上的旧消息丢弃。这允许消息接收方丢弃失序的消息。此外，网关 18 可使用消息 ID 来确定到达的已发布数据是否失序。

[0082] 消息 ID 产生的规则如下：

[0083] 消息 ID 从发送方到接收方列举 (enumerate) 消息序列。该消息序列是双字节无符号值，该值必须是唯一的，并且随每个新的消息 ID 按一递增。

[0084] 应该为每个请求 / 响应事务产生新消息 ID。假如从发送方到接收方仅有一个请求未完成 (outstanding)，则发送方到接收方重试请求时，可再次使用消息 ID。在接收到具有有效消息 ID 的有效请求消息后，现场设备必须通过响应来回应 (echo back) 所接收的消息 ID。

[0085] 应该为来自每个设备的发布消息产生新消息 ID。所产生的发布消息 ID 与请求 / 响应消息的 ID 相独立。

[0086] 消息 ID 的验证规则如下：

[0087] 接收方必须实现用于验证消息 ID 的窗口，使得有效性比较保留了消息 ID 计数器的翻转 (rollover)。如示例，先前 256 个 ID 的窗口内的任意消息将被 WDR/ 现场设备视为失序因而丢弃。但是，如果消息 ID 安全地处于该窗口之外，则接收方应该接受该消息。任何所接受的消息将使待缓存的 (cached) 消息 ID 作为最后有效的接收消息 ID。

[0088] 接收方在重启之后，可接受其接收的第一个消息 ID，或者其必须以设备应用视为合适的任何方式来初始化本身的有效性检验。初始化的总则是，设备总是接受新的无状态请求，而不要求设备发布首先到达网关。

[0089] 具有无效（失序）ID 的已发布消息的接收方使用或丢弃该消息，这取决于接收方的应用。

[0090] 功能代码的解释规则如下：

[0091] 发送方既可通过忽略尾部 100 又可通过指定 NO MESSAGE ID 作为功能代码，来发送没有消息 ID 的消息。如果产生响应并且 WDR/ 现场设备支持尾部，则返回的功能代码应被设成“NO MESSAGE ID”。

[0092] 如果提供了消息 ID,若功能代码被设置为 FORCE ACCEPT 或 CLEAR FORCE ACCEPT WITH FORCE,则该消息 ID 必须被接受。功能代码为 NORMAL ID 的消息通过消息 ID 验证规则将存在被丢弃的可能。

[0093] 如果网关 18 已经重置(reset),其应该使用 FORCE ACCEPT 功能代码做出其第一请求。这迫使接收现场设备接受请求和所附的消息 ID。这解除了网关 18 需获取设备的有效消息 ID 计数器的值的需求。一旦网关 18 接收到具有相匹配的消息 ID 的有效响应消息,则其应该停止使用 FORCE ACCEPT。

[0094] 网关 18 应该把 CLEAR FORCE ACCEPT WITH FORCE 功能代码视为(honor)有效消息 ID,但 WDR/现场设备不应该向网关 18 发送 CLEAR FORCE ACCEPT WITH FORCE。

[0095] 如果系统中的 WDR/现场设备已经重置,其应该使用设置为 FORCE ACCEP 的命令发送发布消息。这会强迫网关 18 接受所发布的数据。

[0096] 如果网关 18 碰上 FORCE ACCEPT 功能代码,其可在随后的消息中随同有效消息 ID 一起发出 CLEAR FORCE ACCEPT WITH FORCE。

[0097] 一旦接收到 CLEAR FORCE ACCEPT WITH FORCE, WDR/现场设备应该清除强制接受条件并总是接受所提供的消息 ID。

[0098] 使用无线消息(根据无线协议)中嵌入的控制消息(根据控制消息协议)使得分布式控制系统的主机计算机能够通过无线通信网络与现场设备交互。可使用已知的控制消息格式,如 HART、Fieldbus 等,在主机计算机与现场设备之间交换控制消息,该控制消息既不需要由主机计算机修改,也不需要由现场设备修改,就适合经由无线网络传输。控制消息被嵌入在无线通信协议中,这样,在主机计算机与现场设备之间交换的控制消息的内容没有由于要通过无线网络传送而进行修改。

[0099] 如果控制消息过大而不能通过无线通信协议路由时,其可被拆分成若干部分,并可以多个部分来发送。每个部分被嵌入无线消息中,并当这些部分离开无线网络时,可重新装配成原始控制消息。通过在嵌入的控制消息中使用消息 ID,多个部分可按照恰当的顺序重新装配,即使具有原始控制消息的嵌入部分的单个无线消息采取不同的路径通过无线网络。

[0100] 现场设备地址向相应的无线地址的转换允许主机 12 在其本地现场设备地址域内运行,同时与无线地址域内的现场设备交互。使用无线网络 16 路由消息至现场设备以及路由来自现场设备的消息对主机 12 来说是透明的。地址转换以及在无线消息中包含无线地址与现场设备地址允许多个现场设备与单个独立编址的节点(也就是单个无线地址)相关联。

[0101] 尽管把现场设备地址作为控制消息的一部分嵌入到无线消息的有效载荷中简单且有效,如果愿意,可把现场设备地址单独包含在无线消息的有效载荷中或无线消息的其它地方。

[0102] 通过把面向现场设备的消息传输在主机计算机 12 与无线网络 16 之间去耦,也使无线网络 16 的存在对主机计算机 12 透明。网关 18 监测无线网络 16 的状态以及影响消息响应时间的因素。通过对由主机计算机 12 发送的消息提供估计响应时间,网关 18 允许主机计算机 12 把现场设备 FD1-FD9 和无线网络 16 看作一有请求便可使用,尽管网络 16 与现场设备 FD1-FD9 通常处于低功率休眠状态。

[0103] 通过微管理单个现场设备和单个节点的开启 / 关闭状态, 只有那些需要与主机特定通信的现场设备和节点保持开启直到通信完成。这样, 不参与通信的节点和现场设备减少了功耗, 并由于节点和现场设备在与主机的通信期间, 没有开启和关闭之间循环, 从而使其与主机的通信效率更高。

[0104] 虽然本发明参考优选实施例而得以描述, 然而本领域的技术人员可以理解, 在不背离本发明精神和范围的前提下, 可以在形式和细节上有所变化。例如, 所示的控制系统 10 使用了 6 个节点和 9 个现场设备, 但同样适合于其它有较少或较多数目的节点与现场设备的配置。

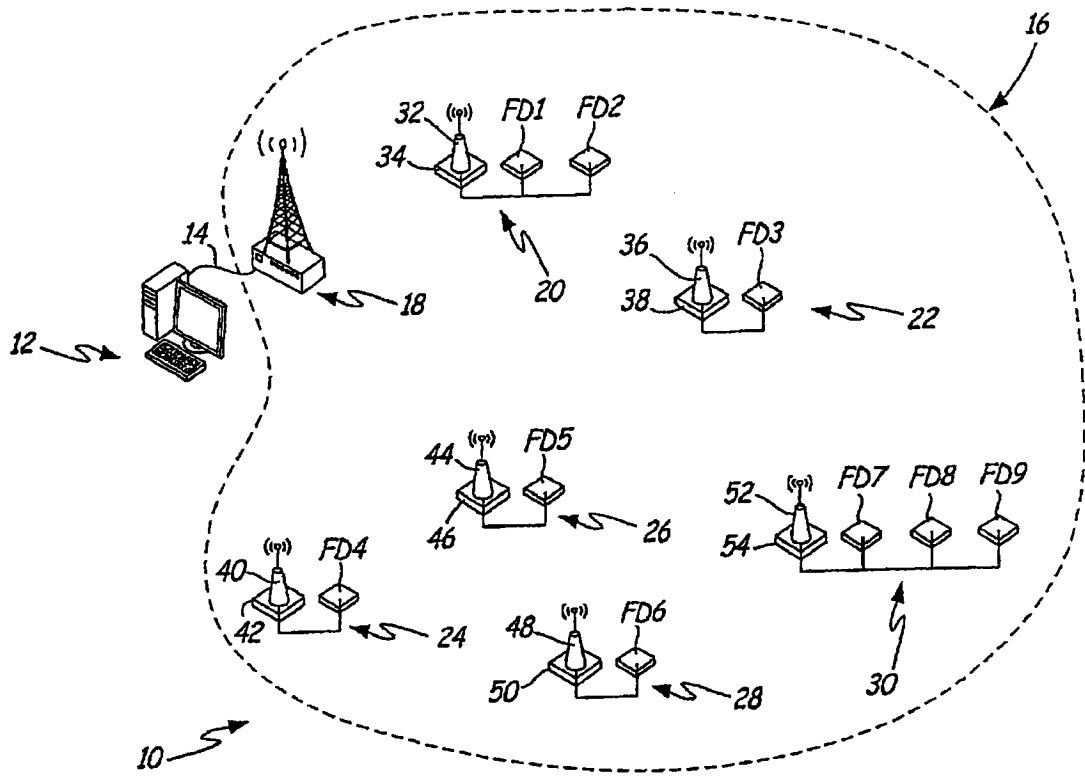


图 1

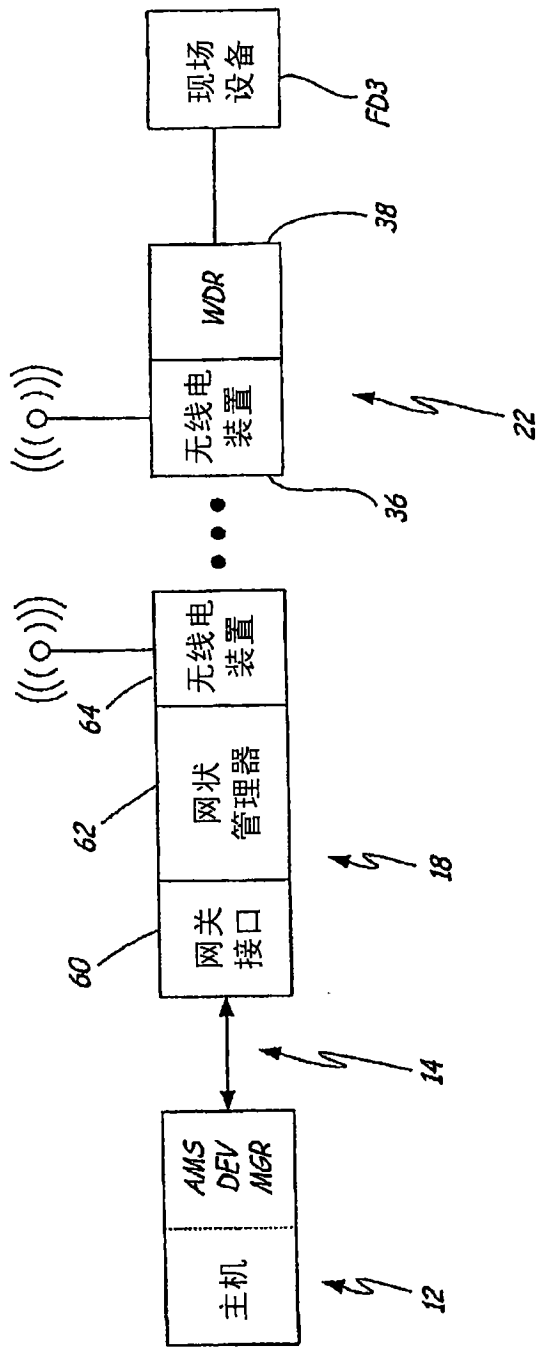


图 2

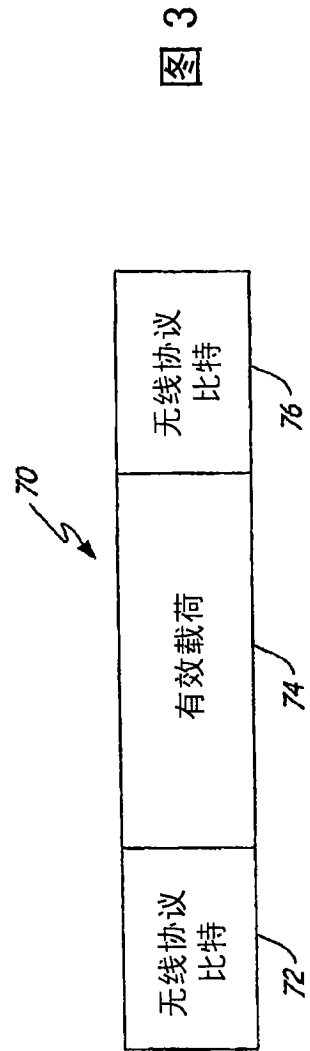


图 3

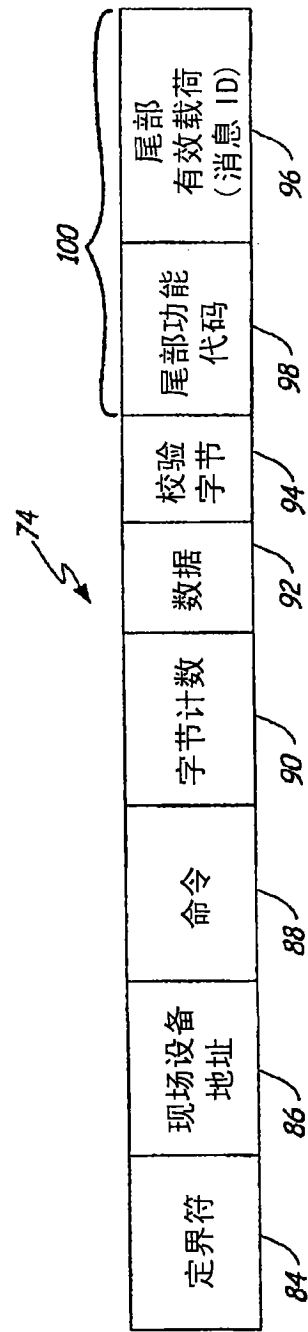
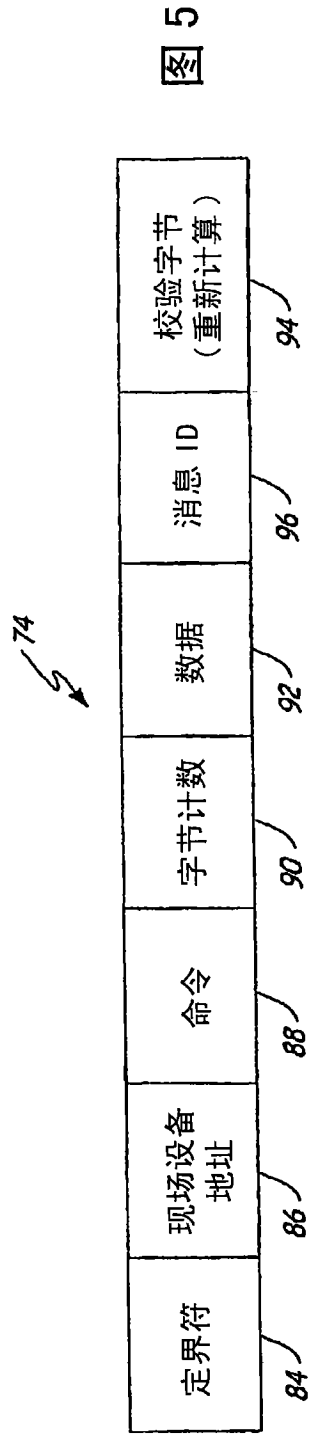
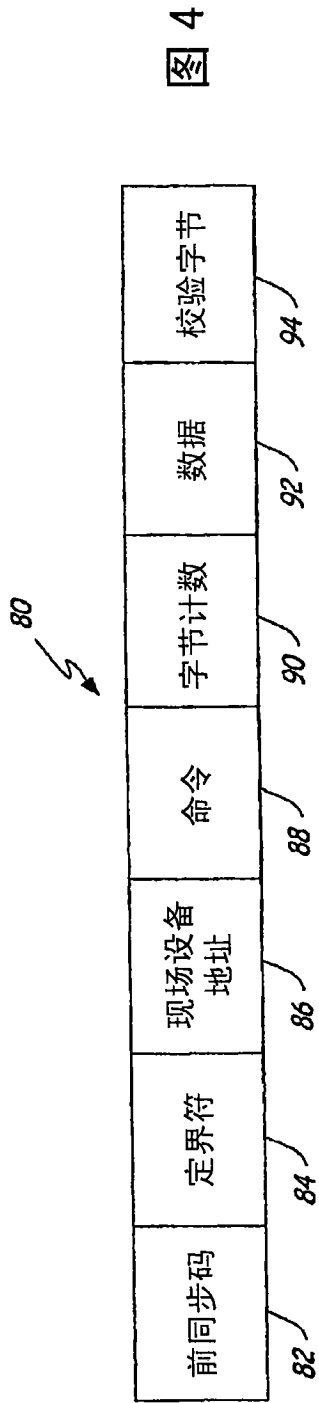


图 6