(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105282000 A
(43)申请公布日 2016.01.27

(21)申请号 201510551278.2

(22)申请日 2015.09.01

(71)申请人 深圳市汇川技术股份有限公司
地址 518101 广东省深圳市宝安区宝城70区留仙二路鸿威工业区E栋

(72)发明人 杨磊 潘铜 卿朝廷

(74)专利代理机构 深圳市顺天达专利商标代理有限公司 44217
代理人 陆军

(51)Int.Cl.
H04L 12/40(2006.01)
H04L 12/413(2006.01)
H04L 12/42(2006.01)

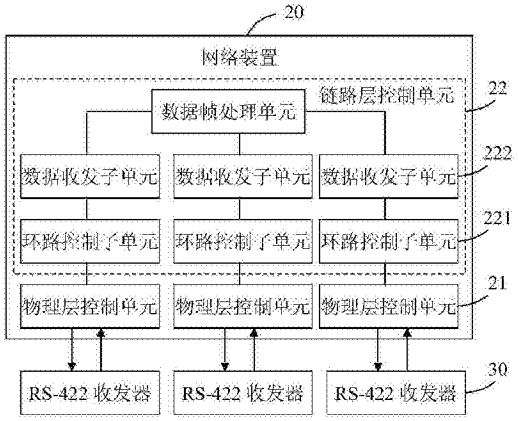
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

基于RS-422的工业总线网络装置、系统及通信方法

(57)摘要

本发明提供了一种基于RS-422的工业总线网络装置、系统及通信方法，所述网络装置包括链路层控制单元和至少两个物理层控制单元，所述链路层控制单元包括环路控制子单元，每一所述物理层控制单元包括链路检测子单元；其中：所述链路检测子单元，用于在总线空闲时监听来自连接的RS-422收发器的诊断脉冲，并在预设时间内连续接收到所述诊断脉冲时确认连接建立、否则确认连接断开；所述环路控制子单元仅在链路检测子单元确认连接建立时将对应的物理层控制单元所连接的下一级节点加入链路。本发明通过RS-422收发器向上、下游节点发送诊断脉冲来确认连接，从而进行链路管理，不仅成本较低，而且可保证通信的稳定性。



CN 105282000 A

1. 一种基于 RS-422 的工业总线网络装置，其特征在于，包括链路层控制单元和至少两个物理层控制单元，所述链路层控制单元用于实现数据收发处理并包括环路控制子单元，每一所述物理层控制单元用于实现与一个 RS-422 收发器的接口功能并包括链路检测子单元；其中：所述链路检测子单元，用于在总线空闲时监听来自连接的 RS-422 收发器的诊断脉冲，并在预设时间内连续接收到所述诊断脉冲时确认连接建立、否则确认连接断开；所述环路控制子单元仅在链路检测子单元确认连接建立时将对应的物理层控制单元所连接的下一级节点加入链路。

2. 根据权利要求 1 所述的基于 RS-422 的工业总线网络装置，其特征在于：每一所述物理层控制单元还包括总线状态侦听子单元和特征脉冲发送单元，其中所述总线状态侦听子单元，用于在总线状态空闲时向连接的 RS-422 收发器发送空闲码；所述特征脉冲发送单元，用于在接收到空闲码时不断地以设定频率向连接的 RS-422 收发器发送诊断脉冲。

3. 一种基于 RS-422 的工业总线网络系统，包括主节点和多个从节点，其特征在于：所述主节点和从节点分别包括如权利要求 1 或 2 所述的网络装置，且所述主节点和多个从节点的网络装置经由 RS-422 收发器连接成菊花链；所述主节点的网络装置通过读取各个从节点的网络装置的环路控制子单元的链路状态获取链路的拓扑结构。

4. 根据权利要求 3 所述的基于 RS-422 的工业总线网络系统，其特征在于：所述主节点和从节点的网络装置的链路层控制单元包括数据收发子单元；所述主节点的数据收发子单元将发送给所有从节点的周期性交互数据封装到同一数据帧并发送到链路中，且发送给每一从节点的周期性交互数据分别位于该数据帧中的预设位置；所述从节点的数据收发子单元接收到数据帧后，从预设位置读取周期性交互数据或写入周期性交互数据到数据帧的预设位置，并将数据帧转发到链路中的其他从节点。

5. 根据权利要求 3 所述的基于 RS-422 的工业总线网络系统，其特征在于：所述主节点和从节点的网络装置具有一个数据缓冲区，且该主节点和从节点的数据收发子单元通过握手机制实现非周期性数据的交互。

6. 根据权利要求 3 所述的基于 RS-422 的工业总线网络系统，其特征在于：所述主节点和从节点的网络装置分别包括状态管理单元，所述从节点的状态管理单元用于完成本节点的链路状态管理；所述主节点的状态管理单元通过自增寻址方式设置各个从节点的节点地址并根据各个从节点的特征信息配置各个从节点的通信参数。

7. 一种基于 RS-422 的工业总线通信方法，其特征在于：包括以下步骤：

(a) 主节点和多个从节点的物理层分别在总线空闲时监听来自连接的 RS-422 收发器的诊断脉冲，并在预设时间内连续接收到所述诊断脉冲时确认连接建立、否则确认连接断开，所述主节点和从节点经由 RS-422 收发器连接成菊花链；

(b) 所述主节点和从节点的物理层在确认连接建立时将所连接的下一级节点加入链路；

(c) 所述主节点通过读取各个从节点的链路状态获取链路的拓扑结构。

8. 根据权利要求 7 所述的基于 RS-422 的工业总线通信方法，其特征在于：所述步骤 (c) 之后包括：

所述主节点将发送给所有从节点的周期性交互数据封装到同一数据帧并发送到链路中，且发送给每一从节点的周期性交互数据分别位于该数据帧中的预设位置；

所述从节点在接收到数据帧后从预设位置读取周期性交互数据或写入周期性交互数据到数据帧的预设位置，并将数据帧转发到链路中的其他从节点。

9. 根据权利要求 7 所述的基于 RS-422 的工业总线通信方法，其特征在于：所述主节点和从节点分别具有一个数据缓冲区，且该主节点和从节点通过握手机制实现非周期性数据的交互。

10. 根据权利要求 7 所述的基于 RS-422 的工业总线通信方法，其特征在于：所述步骤 (c) 之后包括：

所述多个从节点分别完成本节点的链路状态管理；

所述主节点通过自增寻址方式设置各个从节点的节点地址并根据各个从节点的特征信息配置各个从节点的通信参数。

基于 RS-422 的工业总线网络装置、系统及通信方法

技术领域

[0001] 本发明涉及工业网络通信领域，更具体地说，涉及一种基于 RS-422 的工业总线网络装置、系统及通信方法。

背景技术

[0002] 在工业控制领域，工控系统都是由控制器和外围设备构成，其中外围设备主要包括驱动器、HMI（人机交互）、扩展模块（例如 IO、AD 转换器、DA 转换器、编码器等模块）等。控制器通过各种总线和外围设备通信，如：CAN Bus，Modbus，Profibus，Profinet，Ethercat 等。

[0003] RS-422/RS-485 作为工业总线的一种，在自动化控制领域有着广泛的应用，很多协议开发都是基于 422/485PHY 层的基础上进行，如 modbus、Profibus、MII 等。

[0004] 传统的 RS-422 网络拓扑结构如图 1 所示，在该网络拓扑结构中，主节点 11（即主设备）通过节点寻址的方式逐个访问各个从节点 12（即从设备）。在一个通信周期中，每访问一个从节点 12 都要发一次帧头、帧尾、校验码、地址信息等。因此，在上述传统的 RS-422 网络拓扑结构中，波特率的大小受限于所挂载从节点 12 的多少；并且随着从节点 12 的增多，遍历所有从节点 12 所消耗的时间会大幅度提高。这样不仅拉长了系统的通信周期，也降低了系统的带宽利用率。

[0005] 此外，上述 RS-422 网络拓扑结构中，对于某些实时协议，主节点 11 发送数据包后必须等待每个从设备完成对数据的解析和复制。然而，这种确定性状态很难维持，因为主节点 11 必须添加并管理一定量的处理时间及每个从节点的抖动。并且上述 RS-422 通信方案中，物理层不能自动的检测链路通信的失效和建立，在链路失效的情况下，不能自动的将通信帧环回到主设备，保证系统通信不被阻断。

[0006] 对于基于以太网或是基于专用芯片的工业总线网络，则成本相对较高。

发明内容

[0007] 本发明要解决的技术问题在于，针对上述工业总线网络通信效率低、稳定性不高或成本较高的问题，提供一种基于 RS-422 的工业总线网络装置、系统及通信方法。

[0008] 本发明解决上述技术问题的技术方案是，提供一种基于 RS-422 的工业总线网络装置，包括链路层控制单元和至少两个物理层控制单元，所述链路层控制单元用于实现数据收发处理并包括环路控制子单元，每一所述物理层控制单元用于实现与一个 RS-422 收发器的接口功能并包括链路检测子单元；其中：所述链路检测子单元，用于在总线空闲时监听来自连接的 RS-422 收发器的诊断脉冲，并在预设时间内连续接收到所述诊断脉冲时确认连接建立、否则确认连接断开；所述环路控制子单元仅在链路检测子单元确认连接建立时将对应的物理层控制单元所连接的下一级节点加入链路。

[0009] 在本发明所述的基于 RS-422 的工业总线网络装置中，每一所述物理层控制单元还包括总线状态侦听子单元和特征脉冲发送单元，其中所述总线状态侦听子单元，用于在

总线状态空闲时向连接的 RS-422 收发器发送空闲码；所述特征脉冲发送单元，用于在接收到空闲码时向连接的 RS-422 收发器反馈诊断脉冲。

[0010] 本发明还提供一种基于 RS-422 的工业总线网络系统，包括主节点和多个从节点，其特征在于：所述主节点和从节点分别包括上述的网络装置，且所述主节点和多个从节点的网络装置经由 RS-422 收发器连接成菊花链；所述主节点的网络装置通过读取各个从节点的网络装置的环路控制子单元的链路状态获取链路的拓扑结构。

[0011] 在本发明所述的基于 RS-422 的工业总线网络系统中，所述主节点和从节点的网络装置的链路层控制单元包括数据收发子单元；所述主节点的数据收发子单元将发送给所有从节点的周期性交互数据封装到同一数据帧并发送到链路中，且发送给每一从节点的周期性交互数据分别位于该数据帧中的预设位置；所述从节点的数据收发子单元接收到数据帧后，从预设位置读取周期性交互数据或写入周期性交互数据到数据帧的预设位置，并将数据帧转发到链路中的其他从节点。

[0012] 在本发明所述的基于 RS-422 的工业总线网络系统中，所述主节点和从节点的网络装置具有一个数据缓冲区，且该主节点和从节点的数据收发子单元通过握手机制实现非周期性数据的交互。

[0013] 在本发明所述的基于 RS-422 的工业总线网络系统中，所述主节点和从节点的网络装置分别包括状态管理单元，所述从节点的状态管理单元用于完成本节点的链路状态管理；所述主节点的状态管理单元通过自增寻址方式设置各个从节点的节点地址并根据各个从节点的特征信息配置各个从节点的通信参数。

[0014] 本发明还提供一种基于 RS-422 的工业总线通信方法，包括以下步骤：

[0015] (a) 主节点和多个从节点的物理层分别在总线空闲时监听来自连接的 RS-422 收发器的诊断脉冲，并在预设时间内连续接收到所述诊断脉冲时确认连接建立、否则确认连接断开，所述主节点和从节点经由 RS-422 收发器连接成菊花链；

[0016] (b) 所述主节点和从节点的物理层在确认连接建立时将所连接的下一级节点加入链路；

[0017] (c) 所述主节点通过读取各个从节点的链路状态获取链路的拓扑结构。

[0018] 在本发明所述的基于 RS-422 的工业总线通信方法中，所述步骤 (c) 之后包括：

[0019] 所述主节点将发送给所有从节点的周期性交互数据封装到同一数据帧并发送到链路中，且发送给每一从节点的周期性交互数据分别位于该数据帧中的预设位置；

[0020] 所述从节点在接收到数据帧后从预设位置读取周期性交互数据或写入周期性交互数据到数据帧的预设位置，并将数据帧转发到链路中的其他从节点。

[0021] 在本发明所述的基于 RS-422 的工业总线通信方法中，所述主节点和从节点分别具有一个数据缓冲区，且该主节点和从节点通过握手机制实现非周期性数据的交互。

[0022] 在本发明所述的基于 RS-422 的工业总线通信方法中，所述步骤 (c) 之后包括：

[0023] 所述多个从节点分别完成本节点的链路状态管理；

[0024] 所述主节点通过自增寻址方式设置各个从节点的节点地址并根据各个从节点的特征信息配置各个从节点的通信参数。

[0025] 本发明基于 RS-422 的工业总线网络装置、系统及通信方法，通过 RS-422 收发器向上、下游节点发送诊断脉冲来确认连接，从而进行链路管理，不仅成本较低，而且可保证通

信的稳定性。并且，本发明通过共用数据帧来进行周期性数据交互，可相对缩短通信周期、提高通信效率。

附图说明

[0026] 图 1 是现有基于 RS-422 的工业总线网络拓扑结构。

[0027] 图 2 是本发明基于 RS-422 的工业总线网络装置实施例的示意图。

[0028] 图 3 是本发明基于 RS-422 的工业总线网络系统实施例的拓扑结构。

[0029] 图 4 是本发明基于 RS-422 的工业总线网络通信方法实施例的流程示意图。

[0030] 图 5 是本发明应用到机器人控制系统的示意图。

[0031] 图 6 是图 5 中系统的通信过程状态机。

具体实施方式

[0032] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

[0033] 如图 2 所示，是本发明基于 RS-422 的工业总线网络装置实施例的示意图，该网络装置具体可由 FPGA（可编程逻辑器件）或类似具有数据处理能力的装置实现。本实施例中网络装置 20 包括链路层控制单元 22 和至少两个物理层控制单元 21，上述链路层控制单元 22 和至少两个物理层控制单元 21 可结合网络装置 20 的硬件的软件实现。

[0034] 在上述网络装置中，每一物理层控制单元 21 用于连接一个 RS-422 收发器 30，并通过该 RS-422 收发器 30 来级联其他模块，从而形成菊花链拓扑结构（在该拓扑结构中，每一节点均包括一个网络装置）。物理层控制单元 21 用于实现与 RS-422 收发器 30 的接口功能，例如在发送端完成并行数据的串行化、数据编码，并集成时间信息于数据中；在接收端完成时间信息的提取，串行数据的采样、串并转换以及数据的译码工作。链路层控制单元 22 用于完成端口环路的控制，例如闭合物理层端口以实现数据流的转发或是环回，实现数据转发，完成链路层的各种状态管理，完成链路层帧的解析和处理等。此外，链路层控制单元 22 还提供数据内存空间区，以完成非周期数据 (sdo)、周期数据 (pdo) 和寄存器单元的映射，实现数据链路层和应用层的数据交互。

[0035] 为避免链路断开或链路中设备抖动而影响通信的稳定性，上述网络装置具有链路自动检测功能。具体地，上述链路层控制单元 22 包括环路控制子单元 221，每一物理层控制单元 21 包括链路检测子单元。其中，链路检测子单元用于在总线空闲（即链路中无数据传输）时监听来自连接的 RS-422 收发器 30 的诊断脉冲，并在预设时间内连续接收到诊断脉冲时确认连接建立、否则确认连接断开；环路控制子单元 221 仅在链路检测子单元确认连接建立时将对应的物理层控制单元所连接的上一级或下一级节点加入链路。链路层控制单元 22 的数据收发子单元 222 仅在连接到 RS-422 收发器 30 的上一级节点或下一级节点位于链路时，才将数据转发到该上一级节点或下一级节点，否则将数据环回到链路中的另一节点。

[0036] 通过上述方式，网络装置 20 在连接线路空闲状态下，不断地以设定频率产生诊断脉冲（某一固定频率信号），与该节点的网络装置 20 连接的另一节点在固定时间窗内如果

没有监听到该诊断脉冲，则判断链路断开，同时自动闭合对应的端口，数据不再级联到下一级节点，而是直接通过本网络装置转发给上一级节点。在链路断开的情况下，节点会不断监听连接线路上的脉冲群，在固定的时间窗宽内连续检测到诊断脉冲时，则判断链路通信建立。

[0037] 特别地，每一物理层控制单元 21 还包括总线状态侦听子单元和特征脉冲发送单元，其中总线状态侦听子单元，用于在总线状态空闲时向连接的 RS-422 收发器 30 发送空闲码（idle 码），并通过 RS-422 收发器 30 发送到其连接的另一网络装置 20；而特征脉冲发送单元则在接收到空闲码时不断地以设定频率向连接的 RS-422 收发器 30 发送诊断脉冲，并通过 RS-422 收发器 30 发送到其连接的另一网络装置 20（即级联的上一或下一节点）。

[0038] 如图 3 所示，是本发明基于 RS-422 的工业总线网络系统实施例的网络拓扑。该系统包括主节点 40 和多个从节点 50，上述主节点 40 和从节点 50 分别包括上述的网络装置 20，且主节点 40 和多个从节点 50 的网络装置 20 经由 RS-422 收发器 30 连接成菊花链；主节点 40 的网络装置通过读取各个从节点 50 的网络装置的环路控制子单元的链路状态获取链路的拓扑结构，以进行数据发送。

[0039] 这样，主节点 40 的数据经由从节点 50 转发到目的节点，且主节点 40 和从节点 50 通过逻辑寻址方式完成周期性数据（pdo）的发送和接收。具体地，主节点 40 和从节点 50 的网络装置 20 的链路层控制单元 22 包括数据收发子单元 222；主节点的数据收发子单元 222 将发送给所有从节点 50 的周期性交互数据封装到同一数据帧并发送到链路中，且发送给每一从节点 50 的周期性交互数据分别位于该数据帧中的预设位置；每一从节点 50 的数据收发子单元 222 接收到数据帧后，从数据帧的预设位置读取周期性交互数据或写入周期性交互数据到数据帧的预设位置，并将数据帧转发到链路中的其他从节点 50。

[0040] 上述基于 RS-422 的工业总线网络系统，通过逻辑寻址，所要访问的从节点 50 共用帧头、帧尾、帧控制场、校验场，因此在多从节点 50 中，相对地缩短了通信周期，提高了通信效率。

[0041] 该基于 RS-422 的工业总线网络系统还通过广播寻址、自增寻址、节点寻址的方式完成非周期数据（sdo）发送和接收。具体地，主节点 40 和从节点 50 的网络装置 20 具有一个数据缓冲区，且该主节点 40 和从节点 50 的数据收发子单元 222 通过握手机制实现非周期性数据的交互。

[0042] 此外，主节点 40 和从节点 50 的网络装置 20 还分别包括状态管理单元，其中从节点 50 的状态管理单元用于完成本节点的链路状态管理；主节点 40 的状态管理单元通过自增寻址方式设置各个从节点 50 的节点地址并根据各个从节点 50 的特征信息配置各个从节点的通信参数。

[0043] 如图 4 所示，是本发明基于 RS-422 的工业总线通信方法实施例的流程示意图，该方法包括以下步骤：

[0044] 步骤 S41：主节点和多个从节点的物理层分别在总线空闲时监听来自连接的 RS-422 收发器的诊断脉冲，上述主节点和从节点经由 RS-422 收发器连接成菊花链。

[0045] 步骤 S42：每一节点判断是否在预设时间内连续接收到诊断脉冲，若在预设时间内连续接收到诊断脉冲，则执行步骤 S43，否则执行步骤 S44。

[0046] 步骤 S43：连续接收到诊断脉冲的节点确认连接建立，该节点的物理层在确认连

接建立时将连接的节点加入链路（若先前未加入链路）。

[0047] 步骤 S44：未连续接收到诊断脉冲的节点确认连接断开，将连接的节点从链路中删除（若先前该节点在链路中）。

[0048] 在各个节点完成链路管理后，主节点通过读取各个从节点的链路状态获取链路的拓扑结构。

[0049] 在链路拓扑结构获取之后，主节点将发送给所有从节点的周期性交互数据封装到同一数据帧并发送到链路中，且发送给每一从节点的周期性交互数据分别位于该数据帧中的预设位置；从节点在接收到数据帧后从预设位置读取周期性交互数据或写入周期性交互数据到数据帧的预设位置，并将数据帧转发到链路中的其他从节点。对于非周期性数据，主节点和从节点分别具有一个数据缓冲区，且该主节点和从节点通过握手机制实现非周期性数据的交互。

[0050] 在数据收发之前，还可包括链路管理步骤：多个从节点分别完成本节点的链路状态管理；主节点通过自增寻址方式设置各个从节点的节点地址并根据各个从节点的特征信息配置各个从节点的通信参数。

[0051] 如图 5、6 所示，是上述基于 RS-422 的工业总线系统及通信方法应用到机器人控制系统的示意图。机器人控制器 61 通过 RS-422 收发器和多个外设之间进行数据交互，上述外设具体可包括 IO 模块 65、AD 模块 64、DA 模块 63、编码器模块 62。

[0052] 该机器人控制系统提供了冗余的网络拓扑，结合物理层的链路自动检测功能，能够有效的保证链路不因某一个设备链路失效而影响系统通信的正常进行。

[0053] 在上述系统运行时，具体包括以下过程：

[0054] (1) 系统电源接通后，系统进入初始化 (INIT) 阶段。机器人控制器 61 和各个外设中的网络装置的物理层不断的以一定频率发送脉冲群，连接方在固定的时间窗内如果没有接监听到该脉冲，则判断链路链接失效，同时链路层自动闭合对应的端口。在链路失效的情况下，物理层不断监听连接线路的脉冲群，当在固定的时间窗内连续监听到某一频率脉冲时，则判断链路建立，同时链路层打开对应的端口。基于此，整个网络拓扑结构形成，机器人控制器 61 可以通过读取各个外设的链路状态来获取从站的网络拓扑结构。

[0055] (2) 机器人控制器 61 读取从站的特征信息，获取各个外设（从节点）的模块类型。

[0056] (3) 机器人控制器 61 通过自增寻址的方式设置各个外设的节点地址。

[0057] (4) 机器人控制器 61 根据 (2) 中获取的外设的信息来配置各个外设的通信参数信息。

[0058] (5) 系统进入预运行 (Pre-run) 阶段，机器人控制器 61 可通过非周期数据的方式和各个外设进行非周期的数据信息交互，如配置 AD 模块 64、DA 模块 63 的转换模式、量程、滤波深度等。特别地，在非周期数据信息交互中，使用一个缓冲区，实现了带有握手机制的数据交互，以避免丢失数据。即：只有在一端完成数据操作之后另一端才能够访问缓冲区。

[0059] (6) 配置完相应的应用参数信息后，系统进入运行 (run) 阶段。在该阶段，机器人控制器 61 可以周期性地和从节点进行数据交互。在一个通信周期内，机器人控制器 61 可以进行周期数据的交互，也可以进行非周期数据的交互。周期数据主要包括 IO 数据、DA 转换数据、AD 采样数据、编码器采样数据等；即需要实时进行交互的数据。而在该阶段根据实际应用层的需求进行非周期数据交互。

[0060] 特别地，上述系统中，在发送端（例如机器人控制器61）将数据链路层（dll层）接口数据经并串转换，编码后转换为第一原始数据发出。在接收端（例如某一外设），第一原始数据被采样后，完成串并转换，再经译码将第二原始数据传递给数据链路层（dll层）接口。另外，物理层发送状态机在空闲状态下会不断产生空闲码（idle码）流，接收方会不断的诊断该码流以判断总线链路状态。

[0061] 链路层还根据诊断获得的链路状态决定是否将数据传输到下一级从节点还是通过本端口环回。若确定转发数据，则从节点的链路层将接收到自物理层的第二原始数据实时转发给下一个端口，同时该第二原始数据送入到数据帧处理单元中（该数据帧处理单元对第二原始数据剥除帧控场信息，进行数据校验，解析出帧的寻址方式。根据寻址方式，通过内部的逻辑管理单元将数据进行内存映射）；对于没有级联下一级从节点的端口都会形成闭合回路，构成环形网络结构。

[0062] 以上所述，仅为本发明较佳的具体实施方式，但本发明的保护范围并不局限于此，任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内，可轻易想到的变化或替换，都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此，本发明的保护范围应该以权利要求的保护范围为准。

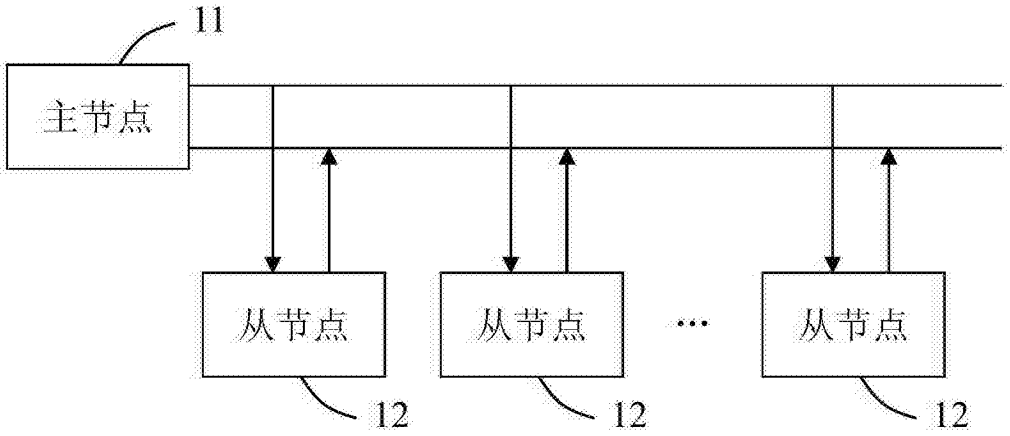

11
主节点
从节点
从节点
…
从节点
12
12
12

图 1

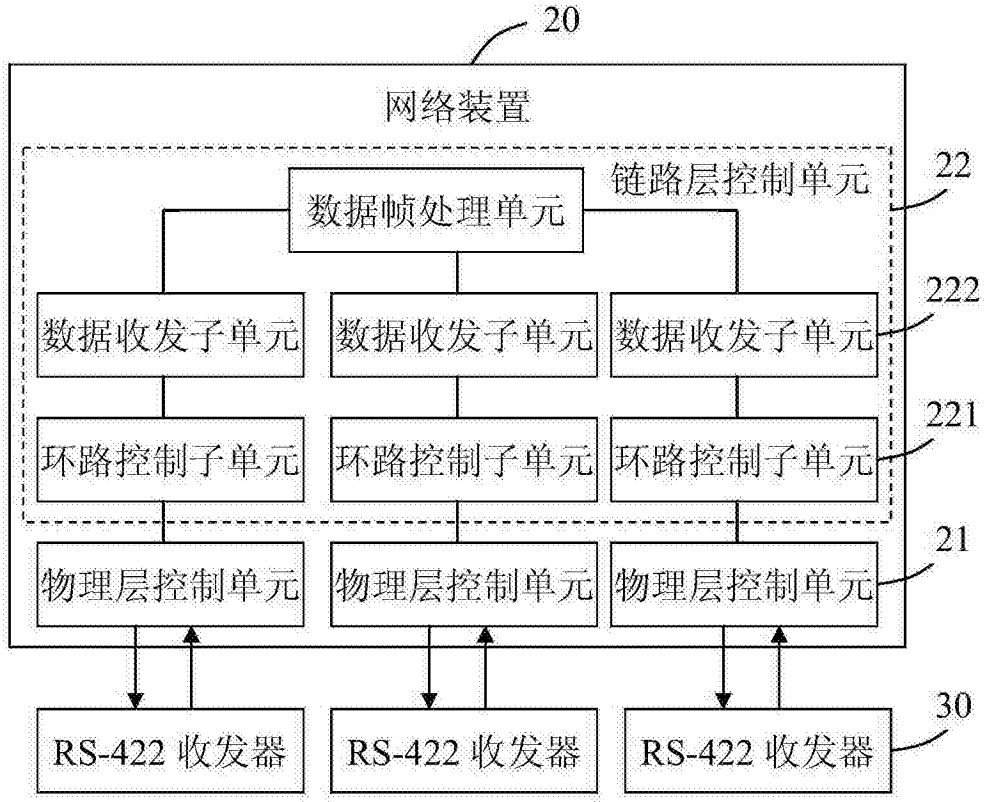

20
网络装置
链路层控制单元
22
数据帧处理单元
222
数据收发子单元
数据收发子单元
数据收发子单元
221
环路控制子单元
环路控制子单元
环路控制子单元
21
物理层控制单元
物理层控制单元
物理层控制单元
30
RS-422 收发器
RS-422 收发器
RS-422 收发器

图 2

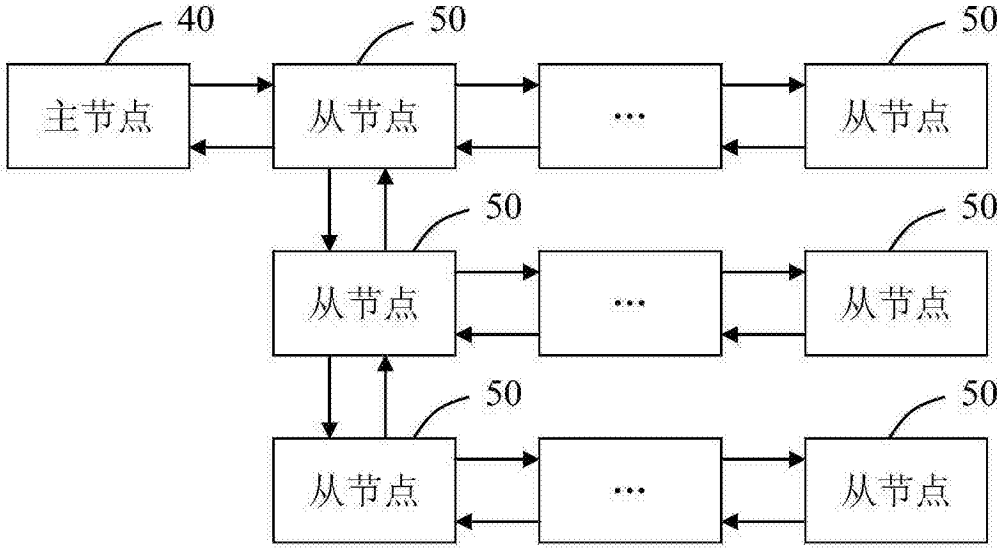

40
50
50
主节点
从节点
…
从节点
50
50
从节点
…
从节点
50
50
从节点
…
从节点

图 3

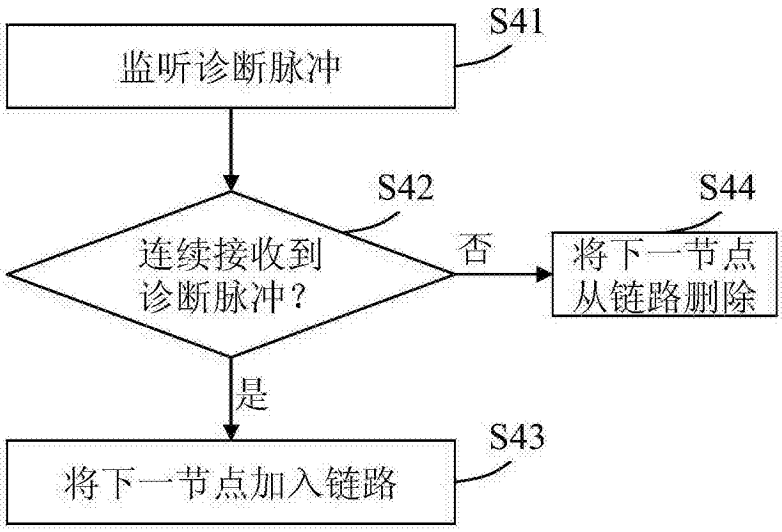

S41
监听诊断脉冲
S42
S44
连续接收到
诊断脉冲？
否
将下一节点
从链路删除
是
S43
将下一节点加入链路

图 4

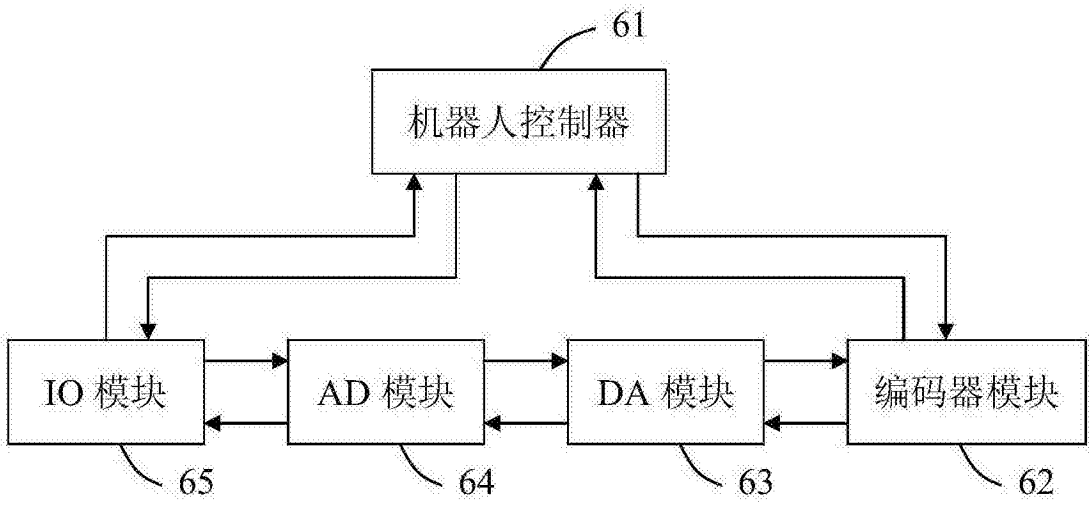


图 5

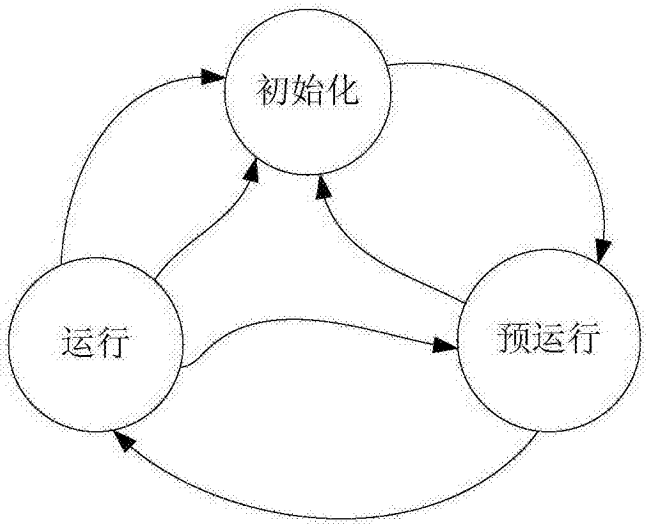


图 6