

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H04L 12/26 (2006.01)

H04L 12/24 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810062209.5

[43] 公开日 2008年12月10日

[11] 公开号 CN 101321093A

[22] 申请日 2008.6.6

[21] 申请号 200810062209.5

[71] 申请人 宁波高新区深联科技有限公司

地址 315040 浙江省宁波市高新区创业大厦
613 室

[72] 发明人 杨宇 姜鹏 夏鹏 孙路
徐勇军

[74] 专利代理机构 宁波奥圣专利代理事务所（普通
合伙）

代理人 程晓明

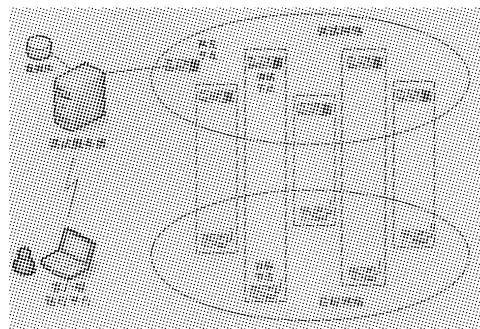
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 5 页

[54] 发明名称

支持无线传感器网络现场开发和调试的系统

[57] 摘要

本发明公开了一种支持无线传感器网络现场开发和调试的系统，该系统包括调试服务器、客户端运行平台、多个目标节点以及多个与目标节点连接的调试节点，目标节点以自组织网络的方式组成目标网络，调试节点以无线技术组成调试网络，调试网络通过网关节点与调试服务器连接，客户端运行平台与调试服务器通信交互；本发明优点在于将控制功能集成到独立的调试节点中，使得目标节点的软硬件结构与实际部署的 WSN 节点基本相同，这为 WSN 开发和调试提供了几乎完全真实的软硬件基础平台，从而使得实际运行效果与实验结果极相近，提高了真实度；采用了独立的调试网络，可以直接部署在应用现场，不再受场地限制，为 WSN 开发和调试提供了完全真实的物理环境。



1、一种支持无线传感器网络现场开发和调试的系统，其特征在于该系统包括调试服务器、客户端运行平台、多个用于采集传感数据的目标节点以及多个与所述的目标节点连接的调试节点，所述的目标节点以自组织网络的方式组成目标网络，所述的调试节点以无线技术组成调试网络，所述的调试网络通过网关节点与所述的调试服务器连接，所述的客户端运行平台以 IP 网络与所述的调试服务器通信交互。

2、根据权利要求 1 所述的支持无线传感器网络现场开发和调试的系统，其特征在于所述的无线技术为蓝牙技术或 WiFi 技术。

3、根据权利要求 1 所述的支持无线传感器网络现场开发和调试的系统，其特征在于所述的调试服务器包括服务器运行平台和数据库，所述的服务器运行平台分别与所述的客户端运行平台和所述的调试节点通信交互；所述的服务器运行平台收集所述的调试节点记录的所述的目标节点的运行信息，并将运行信息存入所述的数据库；所述的服务器运行平台将所述的客户端运行平台发出的调试请求转换成具体的控制命令，指示所述的调试节点执行相应的动作，并处理相应的执行结果。

4、根据权利要求 3 所述的支持无线传感器网络现场开发和调试的系统，其特征在于所述的服务器运行平台与所述的客户端运行平台之间通过通信接口相互通信交互，所述的通信接口为基于 XML-RPC 技术的远程过程调用机制。

5、根据权利要求 1 所述的支持无线传感器网络现场开发和调试的系统，其特征在于所述的目标节点上设置有硬件接口和软件接口；所述的硬件接口包括 UART 接口、重置接口、在线编程接口和中断请求接口；所述的软件接口为用于控制所述的目标节点的中断程序调用，其包括节点程序更新调用、功率控制调用以及通过所述的 UART 接口发送事件报告和工作日志的调用。

6、根据权利要求 1 所述的支持无线传感器网络现场开发和调试的系统，其特征在于所述的客户端运行平台上设置有用户界面模块，所述的用户界面模块包括由控制视图、测试脚本视图和控制日志视图构成的控制界面、由网络运行视图、消息序列视图和监视日志视图构成的监视界面以及分析界面；所述的控制界面为控制所述的目标节点的用户接口，所述的监视界面为观察 WSN 运行状况的用户接口，所述的分析界面为分析 WSN 实验结果的用户接口。

7、根据权利要求 6 所述的支持无线传感器网络现场开发和调试的系统，其特征在于所述的监视界面上设置有过滤器和文件输出模块，所述的文件输出模块将 WSN 的整个运行过程输出到文本文件中，供用户进行离线调试。

8、根据权利要求 7 所述的支持无线传感器网络现场开发和调试的系统，其特征在

于所述的客户端运行平台上还设置有用于输出属性文件的输出模块,所述的属性文件中存储有所述的客户端运行平台的各项设置参数、所述的过滤器的设置参数以及所述的调试服务器的地址。

支持无线传感器网络现场开发和调试的系统

技术领域

本发明涉及一种无线传感器网络的支持系统，尤其是涉及一种支持无线传感器网络现场开发和调试的系统。

背景技术

WSN (Wireless Sensor Network, 无线传感器网络) 是由一组分布在设定位置的多个传感器节点以无线自组织网络的方式构成的面向任务的无线网络，它综合了传感器技术、嵌入式计算技术、现代网络及无线通信技术、分布式信息处理技术等多种领域技术，通过各类微型传感器对目标信息进行实时监测，由嵌入式计算资源对信息进行处理，并通过无线通信网络将信息传送至远程用户端。WSN 具有十分广阔的应用前景，在军事国防、工农业控制、城市管理、生物医疗、环境监测、抢险救灾、反恐反恐、危险区域远程控制等许多领域都有重要的科研价值和实用价值。

然而，WSN 本质上是一种资源受限的分布式系统：无线自主的传感器节点被设置在各种物理环境中，相互协作分工，完成数据采集、处理和传输的功能，但这些传感器节点的大量能量和带宽都为极其有限。从微观角度看，传感器节点的状态的获取难度远远大于普通的网络节点，从宏观角度看，网络的运行状况和性能也比一般网络难以度量和分析，这就给 WSN 的开发、调试和本身在应用现场的部署带来了极大的困难。

目前，WSN 的开发和调试主要依靠网络软件模拟的方法。网络模拟软件可以进行大规模的网络运行仿真，并易于调试，但由于难以模拟真实的物理环境和无线信道特性，且模拟软件都使用了简化的模型，使得实际运行效果与仿真结果往往有很大差别，导致 WSN 返工甚至失败。

随着研究和应用的深入，WSN 研究者们认识到，通过使用真实的 WSN 节点建立网络测试床 (testbed)，则可以在较为真实的环境中验证和测试网络的协议和算法，避免了因模型简化导致的理论误差。因此，近年来，网络测试床越来越为 WSN 研究者们所关注，一些著名的大学和研究机构纷纷建立了相应的软硬件设施，其中最具有代表性的是哈佛大学的 MoteLab、俄亥俄州立大学的 Kansei 和加利福尼亚大学洛杉矶分校的 Emstar。

MoteLab 由多个部署在办公室环境的 WSN 节点组成，所有节点通过串口—以太网口转接板接入局域网，进而与服务器相连；服务器通过以太网对节点进行重编程以及收集实验数据，并对外以 Web 的方式提供了试验任务管理、日程调度和用户访问控制等

功能,使得多个用户可以共享该网络测试床。Kansei 由静止网络、便携网络和移动网络三部分组成;便携网络用于部署到实际环境中进行数据采集,采集的数据通过以太网发送至 Kansei 的软件平台 Director 上,在软件平台 Director 中先对数据建立基于物理参数特性的模型,再通过概率插值等方法将数据扩展到静止网络和移动网络中,进行混合模拟实验。Emstar 本质上是一个混合平台,它将各个传感器节点用串口线连接到仿真服务器上,每个传感器节点对应仿真服务器上的一个仿真节点,进行网络仿真时,仿真节点之间的通信仍然通过真实的传感器节点进行。

MoteLab 提供了较为便利的程序更新和数据收集,在一定程度上提高了传感器网络的开发效率,然而,它对无线传感器网络调试的支持基本为零,数据整理和分析的绝大部分工作仍然需要用户自己去完成;Kansei 的便携网络提供了获取现场数据的手段,但不支持现场调试,其在静止网络和移动网络上实施的插值方法也会给网络实验带来误差;Emstar 的混合特性提供了较好的调试支持,但是其调试功能主要依赖于网络仿真环境,真实度有限。此外,上述网络测试床系统均以有线方式将 WSN 节点相连,因此只能安装在实验室环境中,与最终的应用环境还是有相当差异,并且规模也很难进一步扩展大。

发明内容

本发明所要解决的技术问题是提供一种真实度高,且支持真实的物理环境和无线信道特性的无线传感器网络现场开发和调试的系统。

本发明解决上述技术问题所采用的技术方案为:一种支持无线传感器网络现场开发和调试的系统,该系统包括调试服务器、客户端运行平台、多个用于采集传感数据的目标节点以及多个与所述的目标节点连接的调试节点,所述的目标节点以自组织网络的方式组成目标网络,所述的调试节点以无线技术组成调试网络,所述的调试网络通过网关节点与所述的调试服务器连接,所述的客户端运行平台以 IP (Internet Protocol, Internet 协议) 网络或其他通信网络与所述的调试服务器通信交互。

所述的无线技术为蓝牙技术或 WiFi (Wireless Fidelity, 无线保真) 技术。

所述的调试服务器包括服务器运行平台和数据库,所述的服务器运行平台分别与所述的客户端运行平台和所述的调试节点通信交互;所述的服务器运行平台收集所述的调试节点记录的所述的目标节点的运行信息,并将运行信息存入所述的数据库;所述的服务器运行平台将所述的客户端运行平台发出的调试请求转换成具体的控制命令,指示所述的调试节点执行相应的动作,并处理相应的执行结果。

所述的服务器运行平台与所述的客户端运行平台之间通过通信接口相互通信交互,所述的通信接口为基于 XML-RPC (XML Remote Procedure Call, XML 远程方法调用)

技术的远程过程调用机制。

所述的目标节点上设置有硬件接口和软件接口；所述的硬件接口包括 UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, 通用异步收发器) 接口、重置接口、在线编程接口和中断请求接口；所述的软件接口为用于控制所述的目标节点的中断程序调用, 其包括节点程序更新调用、功率控制调用以及通过所述的 UART 接口发送事件报告和工作日志的调用。

所述的客户端运行平台上设置有用户界面模块, 所述的用户界面模块包括由控制视图、测试脚本视图和控制日志视图构成的控制界面, 由网络运行视图、消息序列视图和监视日志视图构成的监视界面以及分析界面；所述的控制界面为控制所述的目标节点的用户接口, 所述的监视界面为观察 WSN 运行状况的用户接口, 所述的分析界面为分析 WSN 实验结果的用户接口。

所述的监视界面上设置有过滤器和文件输出模块, 所述的文件输出模块将 WSN 的整个运行过程输出到文本文件中, 供用户进行离线调试。

所述的客户端运行平台上还设置有用于输出属性文件的输出模块, 所述的属性文件中存储有所述的客户端运行平台的各项设置参数、所述的过滤器的设置参数以及所述的调试服务器的地址。

与现有技术相比, 本发明的优点如下:

- 1、将控制功能集成到独立的调试节点中, 使得目标节点的软硬件结构可以与实际部署的 WSN 的传感器节点基本相同, 这为 WSN 开发和调试提供了几乎完全真实的软硬件基础平台, 从而使得实际运行效果与实验结果极相近, 提高了真实度;
- 2、采用了独立的无线的调试网络, 因此该系统可以跟随 WSN 的目标网络一起部署在应用现场, 进行现场调试, 这为 WSN 开发和调试提供了完全真实的物理环境;
- 3、采用了独立的调试节点, 可以在开发的过程中, 根据目标网络的网络规模大小动态的调整本系统结构: 当网络规模较小时, 可以将全部目标节点都与调试节点连接; 而当网络规模较大时, 可以选择部分目标节点作为关键节点与调试节点连接, 这为大规模的 WSN 开发和调试提供了有效地保障;
- 4、提供了测试脚本和测试包等手段, 提高了实验的自动化程度, 方便用户进行复杂的现场网络实验;
- 5、提供了多种可视化视图, 方便用户观察和分析目标网络和目标节点的状态和性能, 并提供了过滤器, 使得用户能迅速定向到感兴趣的网络子集;
- 6、提供了文件输出模块和输出属性文件的输出模块, 方便了用户进行离线调试和分析, 以及快速恢复实验设置;
- 7、该系统的整体结构采用了 C/S (Client/Server, 客户机/服务器) 模式, 支持远程调试, 在客户端运行平台和调试服务器以及调试服务器和调试节点间采用了基于

XML-RPC技术的远程过程调用机制的通信接口，不仅通信效率高，而且便于本系统的功能扩充。

附图说明

图 1 为本发明的总体结构示意图；

图 2 为本发明的调试服务器和客户端运行平台的结构及它们之间的连接示意图；

图 3 为本发明的目标节点与调试节点之间的接口示意图；

图 4 为对本发明的目标节点进行程序更新的过程示意图；

图 5 为使用脚本进行无线传感器网络实验的过程示意图；

图 6 为本发明与现有技术的软件模拟和测试床在 WSN 开发和调试的真实度以及网络规模上的比较示意图。

具体实施方式

以下结合附图实施例对本发明作进一步详细描述。

如图 1 所示，一种支持无线传感器网络现场开发和调试的系统，该系统包括调试服务器、多个用于采集传感数据的目标节点、多个与目标节点连接的调试节点以及客户端运行平台，目标节点以自组织网络的方式组成目标网络，自主工作，各个调试节点采用带宽高且稳定性好的成熟的无线技术组成调试网络，调试网络的运行不影响目标网络的运行，调试网络通过一个网关节点与调试服务器连接，远程的客户端运行平台以 IP

(Internet Protocol, Internet 协议)网络或其他通信网络与调试服务器通信交互。本实施例中目标节点按照应用设计要求被部署在应用区域或者实验区域，每个目标节点连接一个调试节点，但如果网络规模过大，可以根据应用环境和网络状况，选择部分目标节点作为关键节点与调试节点连接；调试节点为完整独立的无线节点；无线技术可以为蓝牙技术，也可以为 WiFi (Wireless Fidelity, 无线保真) 技术；该系统整体采用 C/S (Client/Server, 客户机/服务器) 模式。

本实施例中的目标节点的软硬件结构与实际部署的 WSN 的传感器节点基本相同，不同的是目标节点不直接参与调试活动，而是与调试节点连接，在调试节点与目标节点之间建立相互连接的硬件接口和软件接口，如图 3 所示，通过硬件接口和软件接口接受调试节点的控制；硬件接口可以是目标节点的 MCU (Micro Controller Unit, 微控制器单元) 的各个功能引脚引出的插槽，这样调试节点可以很方便的卡接在目标节点上，硬件接口包括 UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, 通用异步收发器) 接口、重置接口、在线编程接口和中断请求接口等；软件接口为一系列用于控制目标节点的中断程序调用，其包括节点程序更新调用 (即在线编程)、功率控制调用以及通过

UART 接口发送事件报告和工作日志的调用等，功率控制有电池开关、功率设定以及电池状态查询等。调试节点从调试服务器接收控制命令，然后控制目标节点，目标节点也在需要时向调试节点汇报信息，这些汇报信息被加上时间戳，存储在调试节点中，等待调试服务器的查询。硬件接口和软件接口的设置一方面使得对目标节点的影响减到最小，让其能最大限度的无干扰运行，另一方面也降低了调试服务器的负载，即只有在调试服务器需要时，才从调试节点检索相关信息。

如图 2 所示，调试服务器包括服务器运行平台和数据库，运行服务器运行平台和数据库，将调试网络和客户端运行平台连接起来，并负责在调试网络和客户端运行平台间传递和记录各种调试信息；服务器运行平台收集调试节点记录的目标节点的运行信息，并将运行信息存入数据库中；同时，服务器运行平台将客户端运行平台发出的调试请求转换成具体的控制命令，指示相应的调试节点执行相应的动作，并处理相应的执行结果。服务器运行平台与客户端运行平台之间通过通信接口相互通信交互，通信接口采用基于 XML-RPC（XML Remote Procedure Call，XML 远程方法调用）技术的远程过程调用机制，发送控制命令，或从数据库中下载实验信息。

调试网络中的调试节点受调试服务器控制，并进一步用于控制和监视目标节点，其主要功能主要包括两个方面，一方面为调试服务器提供远程调用接口，使得调试服务器能对调试节点进行功能控制，并向调试服务器发送报告，为适应调试节点的嵌入式环境，在其上建立轻量级的远程过程调用环境；另一方面接收调试服务器发来的控制命令，对目标节点进行控制，如重置、节点程序更新、发送指令和接收事件报告等。

上述客户端运行平台是直接面对用户的后端运行平台，它与调试服务器相互通信交互，使得用户能够对连接在调试节点上的目标节点进行控制、监视和性能分析。客户端运行平台设置有用户界面模块，用户界面模块包括控制界面、监视界面和分析界面。

1、控制界面，提供了控制目标节点的用户接口，该界面包括三个子界面：

1)、控制视图：控制视图中显示各个目标节点的部署情况，用户可以在该视图选择相应的单个或者多个目标节点，对目标节点进行手工控制，直接向它们发送控制命令，如进行节点程序更新，功率控制等；

2)、测试脚本视图：该系统提供了脚本形式的接口，供用户在需要执行复杂的组网实验时，描述测试计划（如实验时间、参与实验的节点、分组发送数量和频率以及节点的功率等），用户可以在测试脚本视图中创建、编辑、设定和执行实验脚本；客户端运行平台负责将测试脚本解释成具体的控制命令，发送给调试服务器，实验结果将存储在调试服务器的数据库中；针对更复杂的实验，用户还可以将多个测试脚本组织成一个测试包，自动顺序执行，实现实验自动化；

3)、控制日志视图：该视图以文字的形式输出控制命令和测试脚本的执行和反馈信息，供用户参考以及及时发现故障确保控制成功。

控制界面还包括一个控制命令解析模块，该模块的功能主要为：将用户在控制视图中输入的控制命令传递给调试服务器；解释用户输入的测试脚本，并转换成相应的控制命令序列，传递给调试服务器；从调试服务器中查询相应的控制反馈信息，供控制日志视图输出。

2、监视界面，提供了观察 WSN 运行状况的用户接口，该界面包括三个子界面：

1)、网络运行视图：该视图采用多种可视化形式实时显示目标节点的分布情况、目标网络的运行情况及各目标节点之间的通信事件：以彩色箭头的形式描绘出目标节点间的分组传递（不同的颜色代表不同的传递结果，如分组接收成功显示为绿色，失败则为红色），以彩色连线代表目标节点间的链路（不同颜色表示不同的链路质量，如绿色表示链路质量好，蓝色表示链路质量一般，红色代表链路质量低），并在连线上标注链路质量数值；以彩色圆形表示节点，不同的颜色代表不同的剩余能量水平（如绿色表示剩余能量多，蓝色表示剩余能量不多，红色代表剩余能量已低于警戒值）；

2)、消息序列视图：该视图为用户提供了另一个以时间为基准的视角来观察目标网络的运行情况和目标节点间的通信，并以彩色箭头的形式描绘出节点间的分组传递；

3)、监视日志视图：该视图以文字的形式输出目标网络运行过程中的详细信息，供用户参考以及及时发现故障。

如果网络的规模较大，监视界面中显示的信息过于纷乱，用户还可以通过设置在监视界面上的过滤器设定需要观察的节点和属性集合，一旦过滤器实施，监视界面中将只显示特定的节点和属性集合，便于用户观察网络的关键环节，便于用户进行调试，并避免了无关信息的干扰。

监视界面还设置有文件输出模块，即将 WSN 的整个运行过程输出到一个文本文件中，供用户进行离线调试。

监视界面还包括一个网络监视模块，该模块的功能主要为：从调试服务器下载目标网络的运行信息，供该界面中的各视图显示；接受用户指定的过滤器，并根据过滤器的设定过滤相关的网络信息。

3、分析界面，提供了分析网络实验结果的用户接口，该界面包括实验结果分析模块和若干分析视图（如直方图、曲线图等）；实验结果分析模块从调试服务器中下载实验结果，并分类整理组织；用户可以在分析视图中选择直方图、曲线图等形式观察和分析实验结果；用户还可以将实验结果保存为文本文件，供下次分析之用。

客户端运行平台还设置有用于输出属性文件的输出模块。用户在设定好客户端运行平台的各项设置后，可以将这些设置的设置参数保存为属性文件，属性文件中还可存储诸如过滤器的设置参数，对不同通信事件设置的颜色和调试服务器的地址等信息，属性文件可以让用户快速恢复同一实验设置。

本发明的无线传感器网络的开发和调试的核心功能是对目标网络的控制。节点程序

更新是开发和调试过程中一个经常重复，也是非常重要的一个控制操作。因此，下面以节点程序更新为例描述如何利用本发明对网络进行控制，如图4所示，具体过程如下：

- a. 用户在控制视图中选定一个或者多个需要更新程序的目标节点，同时选定新的节点程序文件（通常是后缀名为 hex 或者 bin 文件）；
- b. 客户端运行平台将新的程序文件转换成字符串形式，发送给调试服务器，在等待一段时间后，客户端运行平台不断从调试服务器中查询更新报告情况；
- c. 调试服务器将新的程序文件还原成二进制形式，并通过调试网络发送给相关的调试节点；
- d. 调试节点将新的程序文件下载到目标节点上，并控制目标节点更新程序；
- e. 目标节点完成程序更新后，向调试节点发送更新是否成功的更新报告；
- f. 调试节点将更新报告发送给调试服务器；
- g. 调试服务器将更新报告发送给客户端运行平台，客户端运行平台在控制日志视图中显示相应的更新报告，供用户参考。

从图4中可以看出，在调试服务器、调试节点和目标节点之间采用的是“推动式”的通信模式，即在接收到消息后再采取相应动作，而在客户端运行平台和调试服务器之间采取的是“拉动式”的通信模式，即客户端运行平台在发送命令后不断向服务器查询结果。两种通信模式的结合不仅考虑了调试服务器、调试节点和目标节点之间以及客户端运行平台和调试服务器之间的通信介质承载能力的差异，而且使得用户能比较及时的获得命令反馈。

本发明的实验自动化是以测试脚本为核心的，提高了 WSN 开发和调试的效率。下面以一个简单的实验例子来说明实验自动化的实施方式，该实验包括两个目标节点，两个目标节点分别以 A 和 B 表示，其具体过程如下：

- a. 对 A 和 B 进行初始化，设定各种参数；
- b. B 准备接收分组，A 开始发送分组；
- c. A 在发送指定的间隔后，停止发送；
- d. B 计算分组接收率，并报告给调试服务器；
- e. 客户端运行平台查询实验结果。

如图5所示，用户实施上述实验的具体过程如下：

- a. 在测试脚本视图中输入描述并执行该实验过程的脚本；
- b. 客户端运行平台的控制命令解析模块将该测试脚本解释为具体的控制命令，发送给调试服务器；
- c. 调试服务器通过与 A 连接的调试节点向 A 发送初始化命令，A 完成初始化并报告；
- d. 调试服务器通过与 B 连接的调试节点向 B 发送初始化命令，B 完成初始化并报

告;

- e. 调试服务器通过与 B 连接的调试节点向 B 发送开始接收分组的命令;
- f. 调试服务器通过与 A 连接的调试节点向 A 发送开始发送分组的命令;
- g. 调试服务器通过与 A 连接的调试节点向 A 发送停止发送分组的命令;
- h. 调试服务器通过与 B 连接的调试节点向 B 发送计算分组接收率的命令;
- i. B 向调试服务器汇报计算结果;
- j. 客户端运行平台从调试服务器获得实验结果。

为了清晰地表现整个过程,图 5 中略去了调试节点环节,以及客户端运行平台和调试服务器之间的通信细节,具体可参考图 4。上述过程中,过程 c 和过程 d 的报告结果可以在控制日志视图中查看,过程 e、过程 f 和过程 g 的运行过程可以在网络运行视图、消息序列视图和监视日志视图中观察到。在监视界面中,用户可以选择将实验过程记录为一个文本文件,供日后离线观察。用户获得数据后,可以在分析界面中进行相应的计算和分析。

图 6 给出了本发明与软件模拟及测试床在 WSN 开发和调试的真实度以及网络规模的对比,从图中可以看出本发明的真实度高,应用网络规模大,说明本发明的系统是可行有效的。

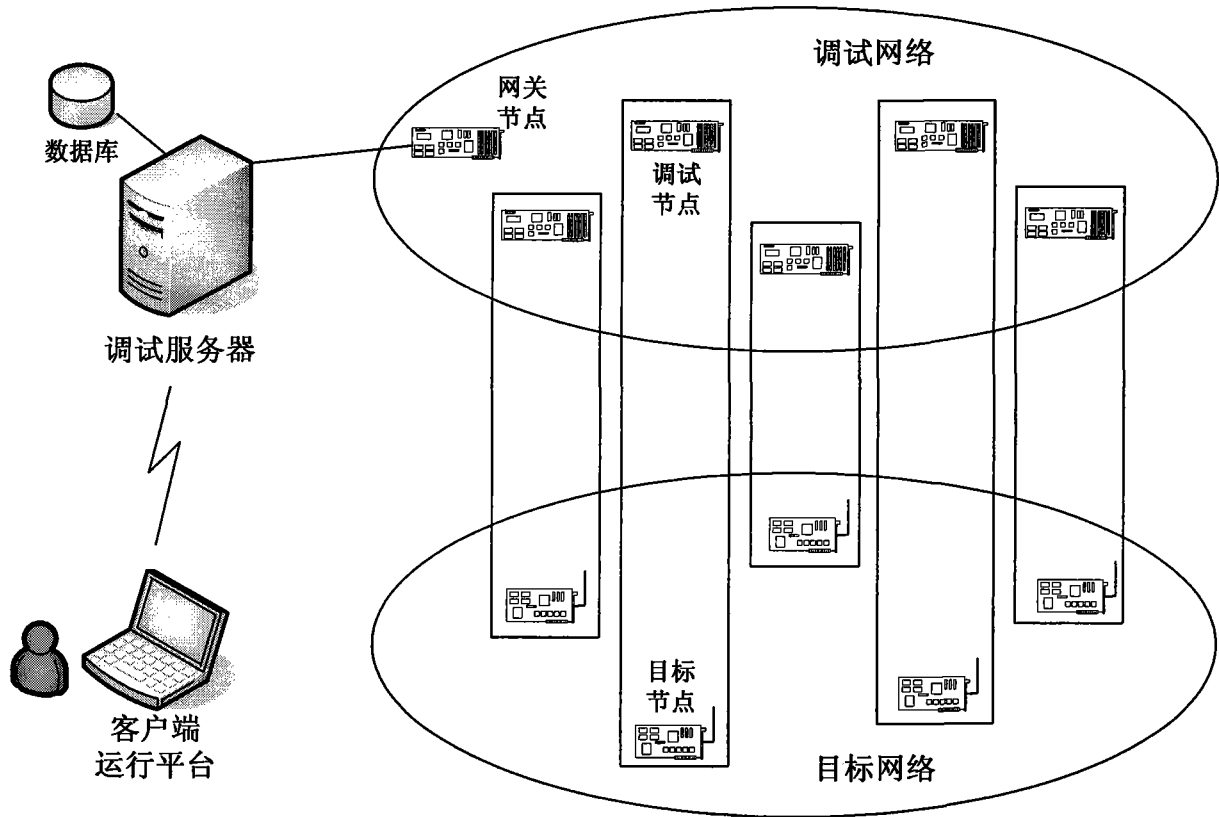


图 1

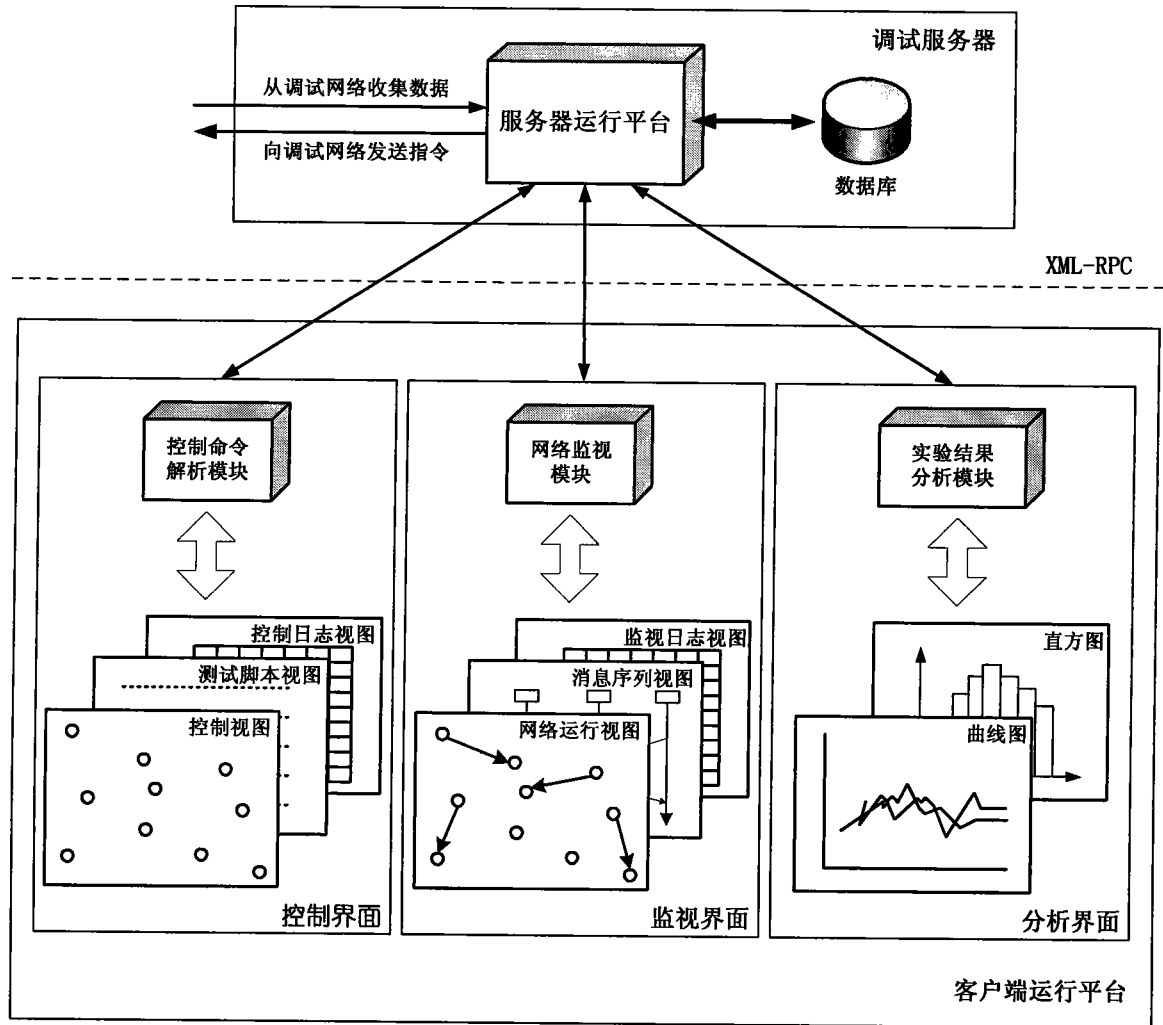


图 2

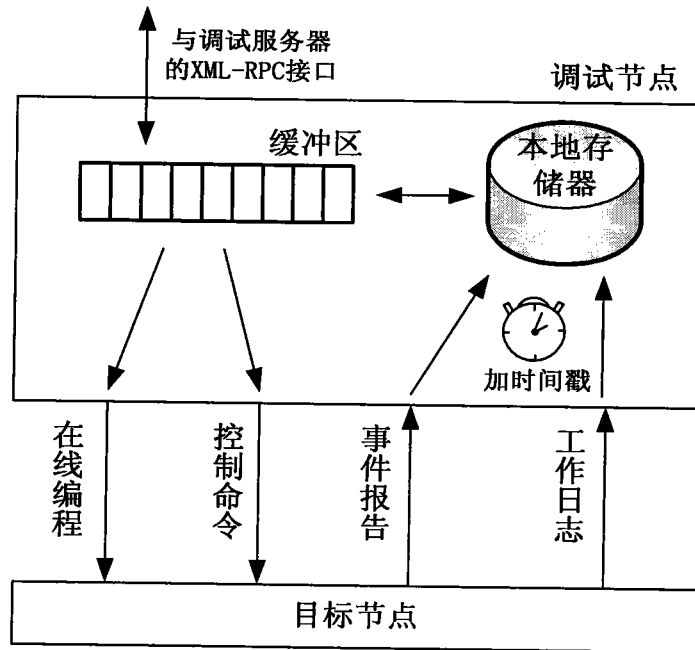


图 3

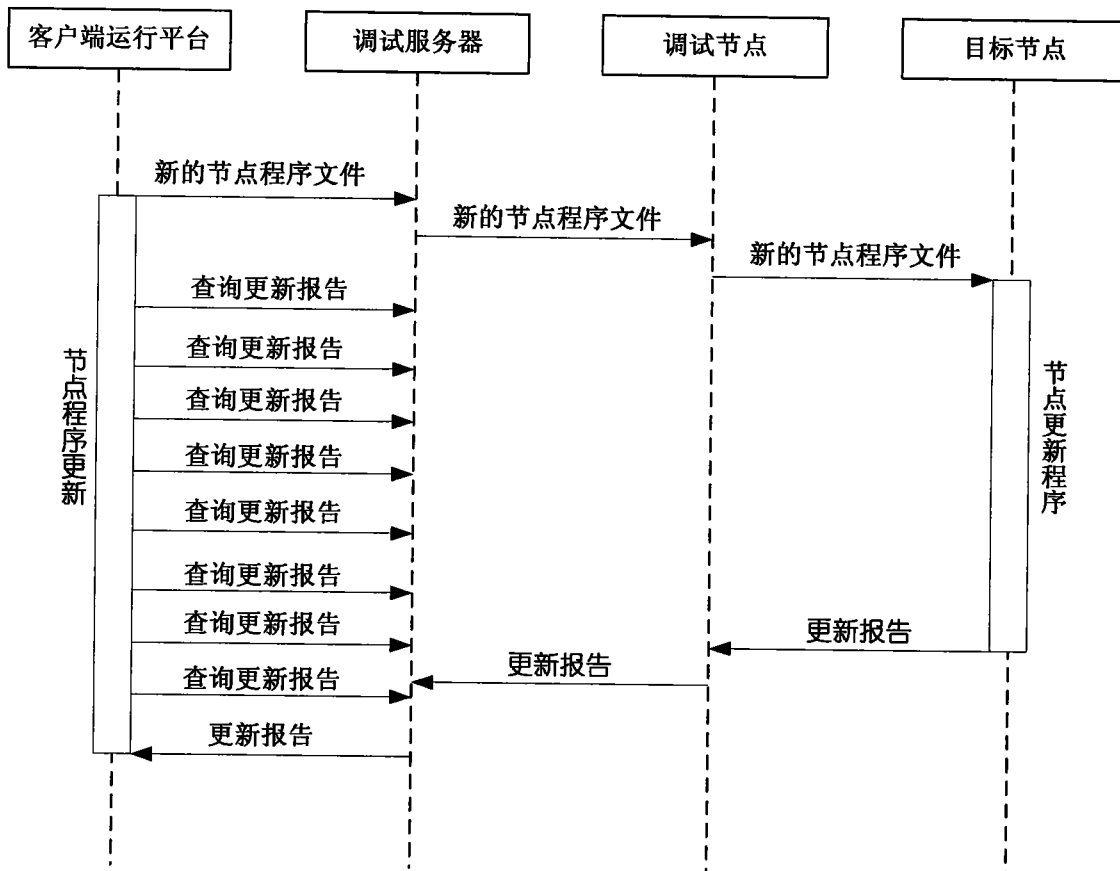


图 4

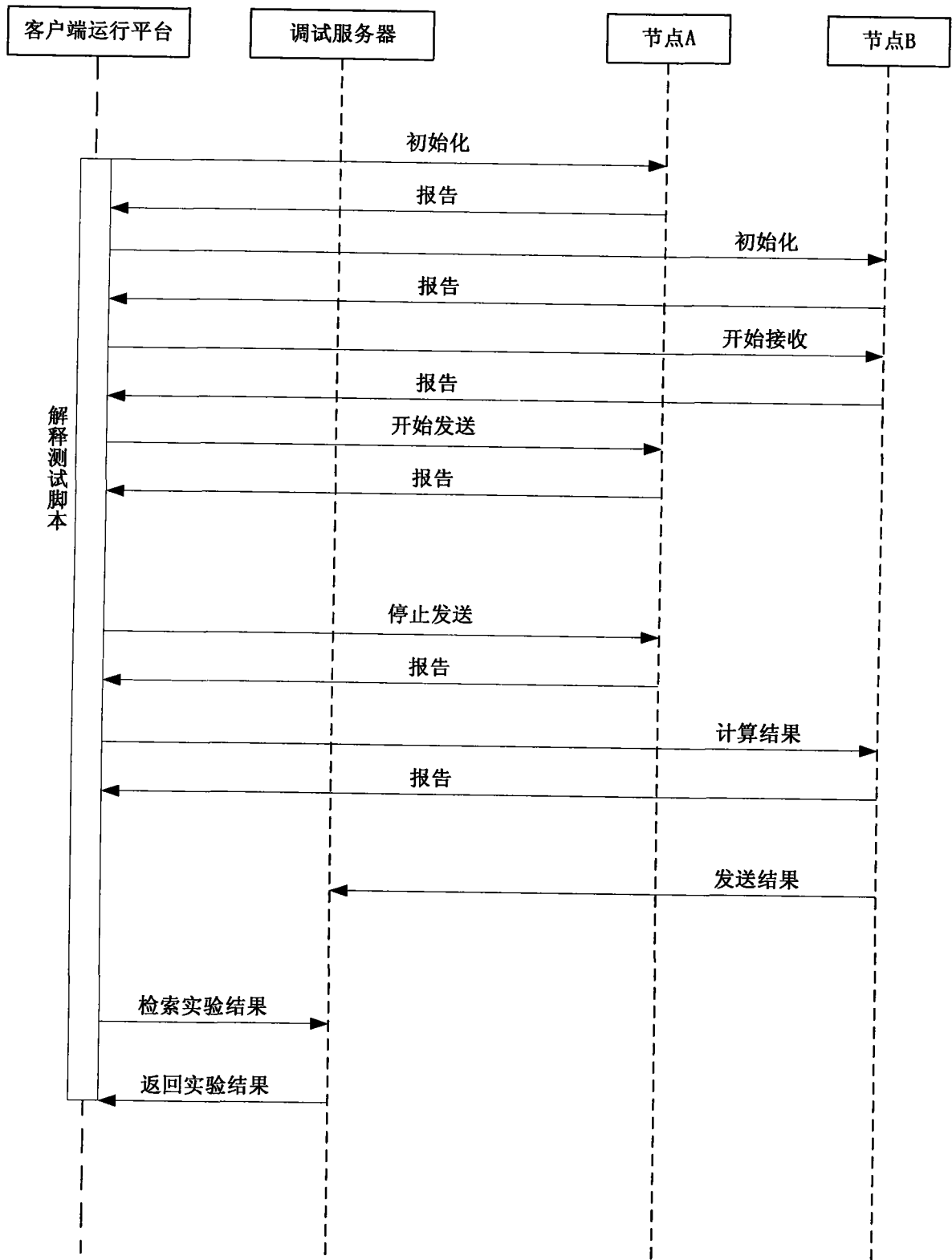


图 5

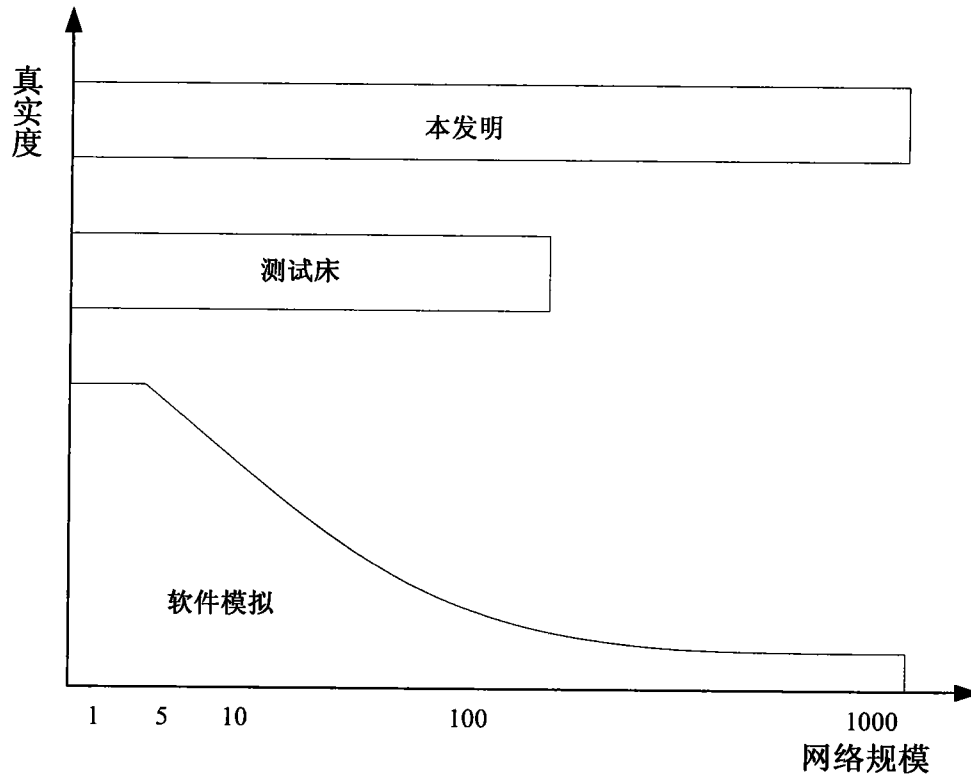


图 6