

无线传感器网络测试平台研究

江涌,谷建华,杜鹏雷,马峻岩

(西北工业大学,陕西 西安 710129)

摘要:由于无线传感器网络与物理世界的紧密耦合以及物理世界本身的不确定性,导致人们在实际部署应用前必须通过无线传感器网络测试平台才能更加有效地验证程序与系统的正确性,从而尽早地在实际部署前发现软件中的问题。分析了无线传感器网络测试平台出现的背景,介绍了通用的无线传感器网络测试平台设计要求和原则;着重研究了当前具有代表性的无线传感器网络测试平台并分析其主要特点,最后给出了总结和展望,指出了需要进一步研究的方向。

关键词:无线传感器网络;测试平台;Motelab;Kansei;Mirage

中图分类号:TP277;TP302.1

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2010)09-0188-05

Research of Wireless Sensor Network Test - Beds

JIANG Yong, GU Jian-hua, DU Peng-lei, MA Jun-yan

(Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

Abstract: On account of the tight coupling between wireless sensor network and the physical world and another reason that uncertainty belongs to the intrinsic physical world, people must depend on the test platform of wireless sensor network before deploying the real application in order to inspect and verify the correctness of program and system more validly, and so they can find the problem of software before actual deployment as soon as possible. Mainly discussed the background of the wireless sensor network test - bed, and introduced the general design requirements and principles. At the same time, explicitly studied recent representative wireless sensor network test - beds, and analyzed its main features. Finally, pointed out the direction for further research.

Key words: wireless sensor network; test - bed; Motelab; Kansei; Mirage

0 引言

近年来随着研究的深入与技术的成熟,以应用为背景、基于WSN的实验越来越多,WSN正处于从研究到应用的过渡阶段^[1]。现在虽然有很多针对WSN的仿真平台^[2],但现实环境中存在各种不可预料的影响因素或系统本身的错误,导致WSN部署之后的行为有时会与预期行为有很大偏差^[3]。如何更真实地为部署提供有效的信息,已经成为亟待解决的问题。

目前大多数的研究都通过理论分析和计算机模拟仿真的方法进行验证和测试。虽然理论分析的方法可以进行多数逻辑上的分析比较,但是数学模型的构建和逻辑的全面性有一定的局限,从而降低了理论分析的可信度^[4]。现有的仿真和模拟工具更是难以真实体现无线通信的不稳定性、不确定性和网络的动态性,其

验证的效果也无法让人满意。而通过建立无线传感器网络测试平台,可以在实际的应用过程中验证所需测试的网络协议、节点功能和各种算法,不仅全面地包含了影响网络状态的实地各个因素,而且避免了模型构建、逻辑分析和仿真模拟的不完备导致的理论误差。因此,无线传感器网络测试平台越来越为人们所关注。

1 WSN Test - bed 的通用设计原则和方法

正如大多数系统一样,WSN在部署之前需要进行测试评估。因为WSN与物理世界的紧密耦合以及物理世界本身的不确定性,在硬件上测试和验证WSN的程序是程序能应用的关键所在,尽管现在的高层分析和仿真方法能解决很多问题,但其先天不足的缺陷导致其在详细和准确地描述复杂的多系统层和抽象建模方面遇到了困难。一些诸如硬件仿真方法允许在嵌入式系统硬件平台上执行代码,但由于有限的保证时间的和扩展性上的不足导致这些方法只能在局部的场合使用。

WSN Test - bed 试图克服这种不足,通过让软件直接运行在真实的目标环境中,给用户提供了真实可靠

收稿日期:2009-12-19;修回日期:2010-03-02

基金项目:国家科技支撑计划项目(2007BAD79B03);陕西省自然科学基金(2007F29);陕西省科技攻关项目(2007K04-01)

作者简介:江涌(1985-),男,硕士研究生,研究方向为无线传感器网络;谷建华,教授,博士生导师,研究方向为分布式计算。

的参考信息。这种方法能产生关于整个系统(广播、进程、存储、传感器、接口)和无线环境(噪声、信号衰减、传输障碍等)在运行中的详细参数。可控的真实环境条件构造也使 Test-bed 提供了更加全面的分析。

现有的 WSN Test-bed 大多采用层次化设计模式,如文献[5~7]中所设计和提到的 Test-bed 都是层次化的设计方案。如图1所示,现有的 Test-bed 主要分为节点组成的无线传感网络、网关或 Gsm 网络、服务器和 Internet 三部分^[8]。下面将从需求分析、结构设计实现和功能角度进行分析,给出一个典型的 WSN Test-bed 所具备的设计原则。

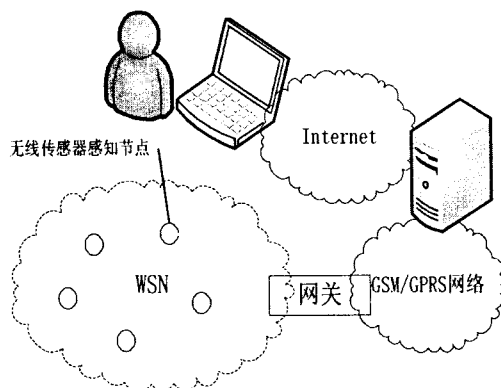


图1 Test-bed 结构图

一个典型的 Test-bed 由布置到现实物理空间中一定数量的节点连接到可控制可存储信息中心资源端组成。典型的中心资源端具有整合存储信息的服务。通常网络终端提供一个简单控制并可视化的资源,为了测试工作的进行和测试结果的分析,在中心资源端提供一个符合标准接口的外部工具方便用户使用。

a) 从需求角度分析,一个 Test-bed 应该能满足不同的工程请求的不同需求^[9],通常的使用需求有:

- * 单操作:执行一项试验的工作应包括上传试验的可执行软件并将其烧制到节点中,通过中心资源端同步的启动软件,存储和设置时间采集记录目标的动作和反应,按计划终止实验并通知用户,按要求输出存储的数据。

- * 重复测试:在现实环境中有多项参数指标会影响测试,需要整合和回归测试尽量的完整模拟现实环境进行测试。

- * 长期工作:Test-beds 的可靠性、可持久工作性是关乎测试过程是否成功的关键。

- * 联合的 Test-beds:节点的特异性限制了 Test-beds 的使用范围,多渠道的环境更能真实地模拟出现实的效果并满足多方面的需求。

- * 资源使用的仲裁:介于 Test-bed 的节点资源的有限性以及用户请求的广泛性,如何才能有效地利

用资源并满足用户的需求成为了一个优秀的 Test-bed 的评判标准。

- * 良好的监测策略:如何记录和提取有效的信息是一个 Test-bed 的关键问题所在。

- * 测试工作的安排^[10]:每个用户的测试需求的安排是不尽相同的,良好的 Test-bed 应该提供自定义测试方案设计(测试的时间、测试的环境、测试的对象等)。

b) 从结构设计和实现角度分析,Test-bed 通常分为四个部分^[5]:

- * 节点部分^[11]:Test-bed 的基本构成单元,它是被测试对象的承载体和被测试的对象,它包括节点硬件和电源供应。

- * 信息资源中心:是 Test-bed 的信息数据的处理和存储部分,透明化处理用户以及节点的请求,通常包括服务器、数据库、XMLRPC 的接口。

- * 用户接口终端:提供给用户的部分,一般包括程序的上载任务请求,以及测试用例设计和测试结果的查看。

- * 通信转接口:是节点和服务器的连接部分,主要负责用户的程序到节点上的部署已经节点测试的数据的反馈传输。

c) Test-bed 的设计从功能上分析有如下几个部分:

- * 存储功能^[12]:节点的数据采集和程序烧写,提供远程烧写程序的功能,用户只需要通过互联网将符合本 Test-bed 规则的程序上载,通过用户测试用例设计,就能在即定的测试项中收取所需要的信息。

- * 自定义功能:测试用例和测试环境设计,一个好的 Test-bed 给用户提供了自定义的测试用例设计和测试场景设计,这将更能满足多样化的需求。另外它还应能提供一个通用的测试模式,对那些只是兴趣研究和学习的用户提供更规范的指导。

- * 反馈功能:一个好的 Test-bed 将能很好地记录被测试者的全面信息(测试服务的鉴定、用户的认证、功率的测量、环境刺激、节点行为的分布式调度等),并进行良好的存储且给出相对可靠的建议,通过良好的人机界面与用户进行沟通。

在应用定制的 WSN 中,对于不同的应用,用户关心的性能参数往往不同,节点的定义属性也有不同。文献[6]从层次化结构、网络管理设计要点等方面探讨了持久 WSN Test-bed 的设计原则。面对如何有效地利用 Test-bed 的有效资源,文献[13]提出了一种分配资源和任务的方法。在 WSN Test-bed 的构建时可以从需求决定功能,功能决定设计。

2 现有的 Test-bed 介绍

国内外对于测试平台搭建技术的研究还处于初级阶段,由于先天的特定节点限制,大多测试平台的测试内容和手段比较单一。目前针对测试而设计的无线传感器网络平台,比较著名的有 Kansei、Motelab 和 Mirage。

下面将分别对其进行介绍。

2.1 Kansei

Kansei^[14]是俄亥俄州立大学针对无线传感器网络开发的面向多种应用的测试平台。从结构上分析,Kansei 由静止网络、便携网络和移动网络组成。其中静止网络是由 210 个节点组成 15×14 的矩形规则阵列,这里的节点分为 XSM 节点和 Stargate 单片机两部分。XSM 节点是基于伯克利节点模型开发的,使用 916MHz 微波通信,是网络测试控制的对象。Stargate 使用 802.11b 的通信协议,与以太网相连并可以通过 51 脚的连接器对 XSM 进行访问和控制^[4]。便携网络中节点的数量不确定,除了进行数据的存储、压缩、传输和时间同步的管理外,根据不同的实验需求搭配所需的传感器,用于实际应用环境中进行数据采集。移动网络由 5 个可移动的机器小车组成,行驶于静止网络布置的节点中;移动网络节点可以收集和反馈信号并向静止网络实时注入数据,从而配合静止网络完成测试。

从通用性和扩展角度分析,静止网络和移动网络满足了 Kansei 平台中的通用平台测试部分功能。而便携式网络则根据测试应用类型选择相应的传感器,部署到特定的环境中进行数据采集;所采集的数据通过以太网发至 Kansei 的软件平台 Director 上,通过该软件对数据进行模型处理并通过数学上的方法将数据扩展到静止网络和移动网络中。从而建立了混合模拟的通用平台,完成了扩展性需求,方便研究者进行测试。

2.2 Motelab

Motelab^[15]是哈佛大学研发的一款无线传感器网络测试平台,支持包括 Web 在内的多种用户访问方式,不同地域的用户都可以通过互联网对测试平台进行访问,上传自己的程序进行网络测试。

Motelab 的系统结构如图 2 所示,它由两部分组成:无线传感器节点网络和中心服务器。无线传感器

网络由 Mica2 和 Micaz 节点组成,使用 802.15.4 通信协议。节点被安置在 MIB2600 开发板上并通过串口和中心服务器相连,传感器网络负责采集、传输和处理数据^[4]。中心服务器和以太网相连,负责转存传感器网络的数据并将传感器网络的数据共享给用户。这样的结构设计使得节点的数据可以通过无线网络、串口、Internet 等多种方式进行传输,从而更方便地对节点的状态进行测试。并且远程登陆的用户也可以通过 Internet 将所定义的控制命令发送到节点上,实现了远程对节点的控制。

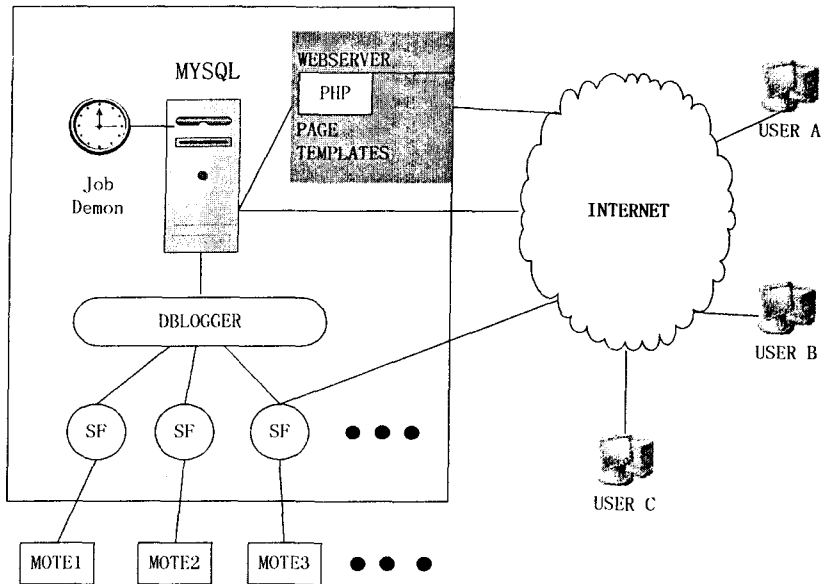


图 2 Motelab 系统结构图

中心服务器是 Motelab 的主体部分,提供了用户实验管理、日程安排、节点重编程、数据记录以及用户访问管理等功能。如图 2 所示,从下往上介绍,Motes 即节点,是实验程序的载体;Dblogger 是传感器网络和数据库的接口,通过对接口的定义和编程,传感器网络中收集上来的各种数据将会被分别处理存入数据库;而数据库通过 Mysql 技术实现,用于存放管理处理后的传感器网络的数据;Job Daemon 用于用户实验任务的管理,包括任务的创建与注销、节点的重编程等工作;Web 服务器通过 PHP 技术实现,为用户提供 Web 访问数据库的功能。从系统图中可以看出 Motelab 提供的三种访问方式,用户 A 通过 Web 接口访问创建了一个任务,进行了随后的操作;用户 B 直接访问数据库调取上次实验收集的信息;用户 C 直接访问节点进行操作。Motelab 在用户的访问的方式上做出了很多行之有效的探索。

2.3 Mirage

Mirage^[13]并不是一个 Test-bed,准确地讲它是一个微观经济的资源分配系统,将有限的 Test-bed 资

源的利用率最大化。

Mirage 假设每个用户都有价值与预期的资源配置,它将系统设计成网格资源服务发现、重复组合拍卖和中央银行三部分。通过用户提交投标拍卖,用虚拟的货币来支持资源服务。

目前这个系统在加州伯克利分校有 148 个节点的 SensorNet 上的实验使用了。如图 3 所示,它由三部分组成:客户端、服务器和前端机。

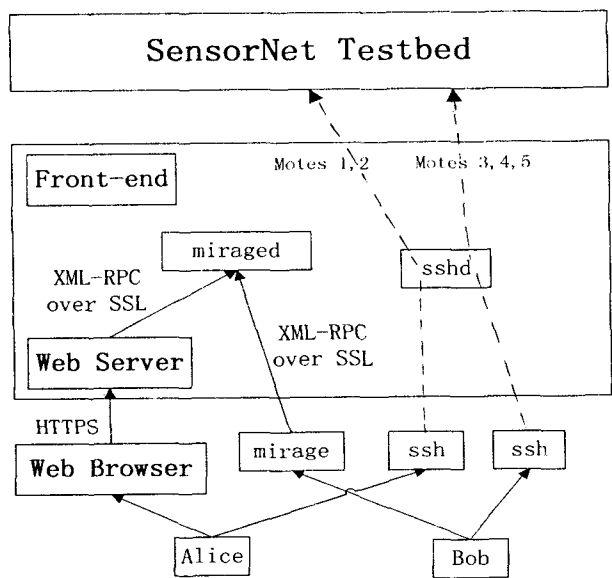


图 3 Mirage 实现

客户端通过基于网络访问服务器提供安全的用户身份认证命令来实现逻辑组合拍卖、银行和资源发现的服务。服务器端接收安全验证的使用持久状态 SSL 协议的 XML-RPC 请求,并将其存储在 PostgreSQL 数据库中。前端机在物理上分配了拍卖后的资源结果。默认情况下,所有用户都无法获得所有的微尘节点。基于拍卖的结果,增加一条评判,作为规则打开进入赢得特定时期出价的用户需求。

2.4 分析比较

Kansei 平台在网络结构设计上为搭建真实的测试平台提供了可行性的探索。首先,它通过便携网络在各种真实的环境下进行数据采集,更加真实地反映了数据的空间特性和应用环境特点,并且便携网络提高了 Kansei 的自定制性。其次,采用实际节点模型与数学抽象出的理论模型相结合的混合模拟方法,扩展了网络的规模并增强了实验室节点测试效果,为解决节点部署规模的问题提供了思路。最后,移动网络的设计,一方面对静止网络进行了补充,另一方面为研究移动传感器网络提供了可行性的思路。但是其混合模拟的可信任度有待进一步的验证。

Motelab 的设计理念为节点资源的共享做出了一

定的贡献,它提供的几种访问途径使用户更为灵活、方便、快捷地完成测试任务。其开发者认为 Web 访问方式将会是无线传感器网络平台搭建技术的趋势,但是 Motelab 过于着重用户体验,在测试方法和测试评估上有所欠缺,并且节点形式单一、网络规模小、扩展性不强。

Mirage 是对其他 Test-bed 的一种补充,它提出了 Test-bed 的资源管理策略,如何更合适地分配系统有限的资源。由于 Test-bed 的节点资源有限,为了更高效地使用资源,资源分配成了非常关键的问题。为 WSN Test-bed 提供了可行性的任务管理方案。

从以上介绍和分析可以看出,三种 Test-bed 设计各有特点。它们分别在测试手段、用户应用和任务管理三方面研究了 Test-bed 设计实现所面临的问题。并且基本满足了第一章介绍的 WSN Test-bed 通用设计原则。

3 结束语

近年来,随着 WSN 的广泛应用,因为 WSN 与物理世界的紧密耦合以及物理世界本身的不确定性,导致人们在实际部署应用前必须通过 WSN Test-bed 才能更加有效地验证程序与系统的正确性,从而尽早地在实际部署前发现软件中的问题,WSN Test-bed 的设计也越来越受到人们的关注^[16]。国内中科院和香港科技大学在这方面已经做出了一定的研究,Test-bed 为现实应用提供信息,反过来现实中的应用进一步促进了 Test-bed 的完善。能否通过 Test-bed 对应用程序做出全面的分析和测试对提高程序的应用和 WSN 的稳定有很大的影响。

总的来说,国内外现有的 Test-bed 研究还处于初级阶段,虽然取得了一定的成效,但还远远不能满足需求。未来在 WSN Test-bed 的三个关键问题,测试手段、用户使用和测试任务管理上还有很大的研究空间。Test-bed 的节点的单一性给它的发展带来了很大的瓶颈,另外现有的多个 Test-bed 之间的沟通也是可待改进的地方。如果能建立起类似于 Internet 上的跨平台的协作模式,那么对 Test-bed 将是一个极大的改进。另外通过借鉴操作系统的任务和进程的调度来管理分配有限的节点资源,对 Test-bed 的利用也将是一个极大的提高。如何让 Test-bed 有更好的扩展性和高效性必将是以后研究的重点。

参考文献:

[1] Romer K, Mattern F, Zurich E, et al. The design space of wireless sensor networks [J]. Wireless Communications,

- 2004, 11(6):54-61.
- [2] 崔莉, 鞠海玲, 苗勇, 等. 无线传感器网络研究进展[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(1): 163-174.
- [3] Tolle G, Polastre J, Szewczyk R, et al. Design of an application-cooperative management system for wireless sensor networks[C]//Proc. of the 2nd European Workshop on Wireless Sensor Networks. Istanbul, Turkey: [s. n.], 2005: 121-132.
- [4] 柯欣, 舒坚, 任雍, 等. 无线传感网络测试技术与测试平台研究[J]. 计算机科学, 2007, 34(1): 120-122.
- [5] Furrer S, Schott W, Truong H, et al. The IBM Wireless Sensor Networking Testbed[C]//Proc. IEEE TRIDENT-COM. Barcelona, Spain: [s. n.], 2006.
- [6] Blywys B, Juraschek F, Gunes M, et al. Design Concepts of a Persistent Wireless Sensor Testbed[C]//In 7. GI/ITG KuVS Fachgespräch Sensornetze. [s. l.]: [s. n.], 2008.
- [7] WISEBED - Wireless Sensor Network Testbeds[EB/OL]. 2008-06. <http://wisebed.eu/>.
- [8] Ramakrishnan M, Vanaja Ranjan P. PICSENSE - A Wireless Sensor Network Testbed[J]. International Journal of Recent Trends in Engineering, 2009, 1(4): 59-63.
- [9] TinyOS 2.0.2 Documentation [DB/OL]. 2007-06-14. <http://www.tinyos.net>.
- [10] Handziski V, Köpke A, Willig A, et al. Twist: a scalable and reconfigurable testbed for wireless indoor experiments with sensor networks[C]//Proceedings of the 2nd International Workshop on Multihop Ad Hoc Networks: from Theory to Reality. New York, NY, USA: ACM, 2006: 63-70.
- [11] van Hoesel L F W, Dulman S O, Havinga P J M, et al. Design of a low-power testbed for wireless sensor networks and verification[R]. Twente: Centre for Telematics and Information Technology, University of Twente, 2003.
- [12] Yick J, Mukherjee B, Ghosal D. Wireless sensor network survey[J]. Comput. Networks, 2008, 52(12): 2292-2330.
- [13] Chun B N, Buonadonna P, AuYoung A, et al. Mirage: A Microeconomic Resource Allocation System for SensorNet Testbeds[C]//2nd IEEE Workshop on Embedded Networked Sensors. Sydney, Australia: [s. n.], 2005.
- [14] Ertin E, Arora A, Ramnath R, et al. Kansei: Sensor Testbed for At-Scale Experiments[C]//Poster, 2nd International TinyOS Technology Exchange. Berkeley, CA: [s. n.], 2005.
- [15] Werner-Allen G, Swieskowski P, Welsh M. Motelab: A wireless sensor network testbed[C]//Proc. IPSN/SPOTS'05. Los Angeles, CA, USA: [s. n.], 2005.
- [16] Suet-Fei Li, Handziski V, Köpke A, et al. A Wireless Sensor Network Testbed Supporting Controlled In-building Experiments[C]//Proc. of 12. Sensor Kongress. Nürnberg, Germany: [s. n.], 2005.

(上接第 187 页)

握供应链中各种物料所处状态,使整个供应链有效地运作起来。第四、为看板作业提供决策依据。看板管理作为准时制中的重要概念,在统一的作业规范基础上,给用户清晰的操作提示。供应链中各种生产物料信息,能够精确而且及时反馈至信息系统,对管理与决策提供有效支持。

4 结束语

文中探讨了对物流供应链进行联合库存管理的必要性和一般的决策方法,并结合 RFID 技术,设计了一种供应链双方同时参与物流决策的作业模式。为汽车生产企业构建敏捷型的物流供应链提供了可参考的解决方案和基础框架。

参考文献:

- [1] 龚其国,赵晓波,王永县. JIT 生产控制策略的研究现状与进展[J]. 系统工程学报, 2001, 16(6): 456-464.
- [2] GoI Cman S L, Preiss K, Nagel R N, et al. Century Manufacturing Enterprises Strategy: An Industry Led View[R]. Bethlehem, PA: Iacocca Institute, Lehigh University, 1991: 22-23.
- [3] 张伟伟. 基于供应链环境下联合库存管理研究[J]. 价值工程, 2005(8): 30-33.
- [4] 梁志才. 供应链管理环境下的联合库存管理[J]. 科技情报开发与经济, 2005, 15(9): 120-121.
- [5] Lai C L, Lee W B, W H. A study of system dynamics in just-in-time logistics[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2003, 138: 265-269.
- [6] 刘敏, 鲁建厦. 离散型制造企业物流管理信息系统研究[J]. 机械工程, 2003(9): 30-33.
- [7] 刘斌. 供应链渠道的协调机制与建模[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 12-38.
- [8] Ramanan G V, Rajendran C. Scheduling in Kanban-Controlled Flowshops to Minimise the Makespan of Containers[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2003, 21: 348-358.
- [9] 赵士军, 张锦, 刘开元. RFID 技术在供应链中的应用[J]. 重庆交通学院学报, 2007, 26(1): 147-151.
- [10] 卢幸. 射频识别技术在汽车行业中的应用浅析[J]. 上海汽车, 2005(7): 21-23.
- [11] 徐丹, 王铁宁. RFID 在物流配送中心中的应用[J]. 物流科技, 2005, 28(9): 36-38.
- [12] 张昊, 陈宇. 应用 RFID 技术和无线通信的实时物流追踪系统[J]. 测控技术, 2005, 24(12): 68-70.