

基于多层数据处理的嵌入式 RFID 中间件系统开发

刘博洋^{1,2} 马连博² 朱云龙² 邵伟平¹

(沈阳理工大学机械工程学院 沈阳 110168)¹

(中国科学院沈阳自动化研究所信息服务与智能控制研究室 沈阳 110016)²

摘要 针对大规模 RFID 应用环境特点,研究了具有流数据处理和语义分析功能的中间件体系结构及信息处理关键技术,在处理海量电子标签数据的基础上,融合了数据感知、事件处理和嵌入式 Web 服务功能。在嵌入式应用环境下提出了资源任务调度优化策略,为上层应用提供统一的标准服务和运行环境,来实现对不同硬件资源的屏蔽,有针对性地解决多层数据处理中存在的难点,以便于未来 RFID 业务的部署和更新。

关键词 物联网,信息处理,嵌入式,智能中间件

中图分类号 TP274+.2 **文献标识码** A

Development of Embedded RFID Middleware System for Multilayer Data Processing

LIU Bo-yang^{1,2} MA Lian-bo² ZHU Yun-long² SHAO Wei-ping¹

(School of Mechanical Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang 110168, China)¹

(Laboratory of Information Service and Intelligent Control, Shenyang Institute of Automation,

Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)²

Abstract According to the mobile application environmental characteristics of the large-scale RFID, this paper researched the middleware architecture and the key information processing technologies with stream data processing and semantic analysis functions. Based on massive data processing of RFID nodes, the functions of data-sensing, event-processing and embedded Web services were integrated. To achieve shielding different hardware resources and target solutions to data-processing difficulties existing in multilayer data processing, the resources and tasks scheduling optimization strategy oriented to the embedded application environment was represented, while the uniform standards for service and operating environment were provided for upper applications, which will facilitate the deployment and update of RFID services in future.

Keywords RFID, Information-processing, Embedded Technology, Intelligent middleware

1 引言

物联网作为新一代的信息技术革命的标志,对国家的战略需求、经济发展、社会进步和国家安全具有重要的影响,将为传统网络带来“物物互联”的新业务,并且打破了传统思想^[1-4],而 RFID 技术是物联网的重要组成部分。RFID 技术把电子标签装备到工业现场、电网等各种真实物体上,并通过传感器和智能嵌入技术将其与互联网连接起来,进而运行特定的程序,达到远程控制或者实现物与物的直接通信,实现嵌入智能化识别和管理^[5-7]。RFID 中间件的主要功能就是针对屏蔽不同 RFID 设备的硬件差异,对上层应用提供有用信息与统一接口,收集 RFID 标签数据,对 RFID 数据进行过滤、分类、重组,最后发送给上层应用系统。

对比前人工作,本文提出的嵌入式 RFID 智能中间件是一种基于消息驱动的嵌入式信息处理系统,研究了在受限制

的嵌入式资源环境下进行资源业务调度优化。该系统支持多种异构操作系统及多种异构硬件,并在海量数据基础上,实现数据采集、适配、多协议多标准数据转换引擎、过滤和分发功能,屏蔽底层传感器硬件差异,向上层提供标准的统一的数据接口。系统具有良好的适应性和安全性。

2 嵌入式 RFID 智能中间件系统分析

2.1 嵌入式 RFID 中间件的系统层次

从信息处理的角度来看,RFID 数据处理可以分为 3 个层次。底层是局部区域的协同感知,检测多个同类或异类的电子标签数据,通过局部区域的信息处理和融合,能够获得高精度、可靠的感知信息^[8,9];第二层是传输过程中的数据处理,由于包括面向无线传输网络状态的感知信息的进一步聚合和融合处理、自适应传输链路状态应用层的编码和传送协议优化,以及数据的安全传输处理,使得海量信息能够高效、可靠

本文受国家 863 计划项目:基于喷墨打印制备超细电极的太阳能电池中试线关键技术研发(2014AA052101-3),佛山市两市合作项目:基于物联网的家具商贸综合服务平台研发与应用示范(2012HY100523),乐从家具商贸产业全程电子商务服务平台建设(2012HY100643)资助。

刘博洋(1991-),男,硕士生,主要研究方向为微制造与信息装备技术,E-mail:boyangliu1991@163.com;马连博(1981-),男,博士,副研究员,主要研究方向为 RFID 信息处理技术、人工智能、嵌入式软件技术,E-mail:malb@sia.cn(通信作者);朱云龙(1967-),男,博士,研究员,主要研究方向为群体智能理论与优化决策方法、分布式大型应用软件开发技术、无线射频(RFID)技术理论与方法、全印制电子技术与智能控制技术;邵伟平(1968-),女,博士,教授,主要研究方向为进制造技术、大规模定制技术及产品数据管理。

和安全地传输;第三层是应用支撑层上的基于各类 RFID 应用的全性支撑、服务决策、协调控制等^[10-12]。

针对上述 RFID 网络架构底层局部区域信息感知融合的需求特点,一个完整的嵌入式智能中间件系统应当包含一个运行环境用以支持和协调多个应用,应具有处理移动节点海量数据的功能。同时,中间件的功能还必须包括数据安全、数据解释、网络管理等服务功能,屏蔽底层传感器硬件差异,向上层提供标准的统一的数据接口具有良好适应性和安全性。嵌入式智能中间件在整个 RFID 网络架构中的位置如图 1 所示。

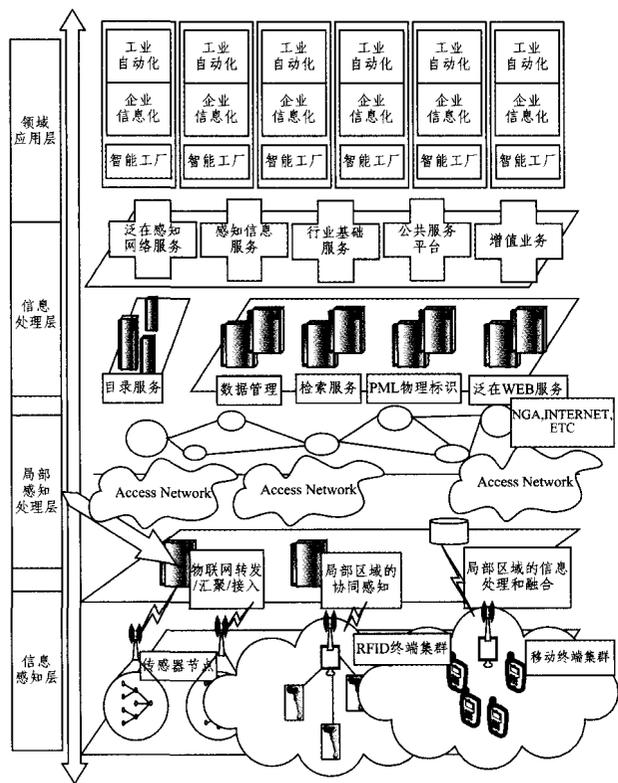


图 1 RFID 系统网络架构

2.2 嵌入式中间件的设计原则

在设计面向 RFID 的嵌入式智能中间件系统时,需要考虑如下的一些要素:

(1)健壮性。中间件系统的核心是可复用模块的设计,通过引入多种设计模式、体系结构来充分考虑模块复用和职责分配问题。

(2)灵活性和可扩展性。与固定中间件不同,引入嵌入式智能技术来构建的 RFID 网络应用支撑系统具有灵活组织现有的资源、扩充系统的功能。

(3)简单性。由于嵌入式环境资源受限,嵌入式智能中间件的目的是方便用户开发各类移动应用业务,因此简单性是其主要目的^[13-15]。

3 嵌入式智能中间件的体系结构

3.1 系统总体软件架构

整个体系架构由 3 部分组成,即流数据管理层、事件处理层和 Web 服务支撑平台,如图 2 所示,其中:

流数据管理层:该层为该层实现了多样数据类型的统一和海量数据的过滤和存储,同时通过智能 RFID 设备管理提供多协议 RFID 读写器设备和传感器设备的接入、协同和调度优化问题。

事件处理层:RFID 底层事件分析、处理及事件触发等机制提供了有效的途径和方法,展现了 RFID 物理信息背后所隐藏的业务信息,从而方便业务过程和 RFID 系统在整个企业业务流程中进行集成。

Web 服务支撑平台:该平台是中间件与企业信息集成的公共基础设施。在实现技术上采用嵌入式 Web 服务器技术,由 ALE 模块完成 EPC-global 的 ALE 标准规划的数据处理逻辑。这种软件架构方法可以缩短开发周期,使各模块基本保持原有面貌,利于将来对软件系统进行维护和扩展。

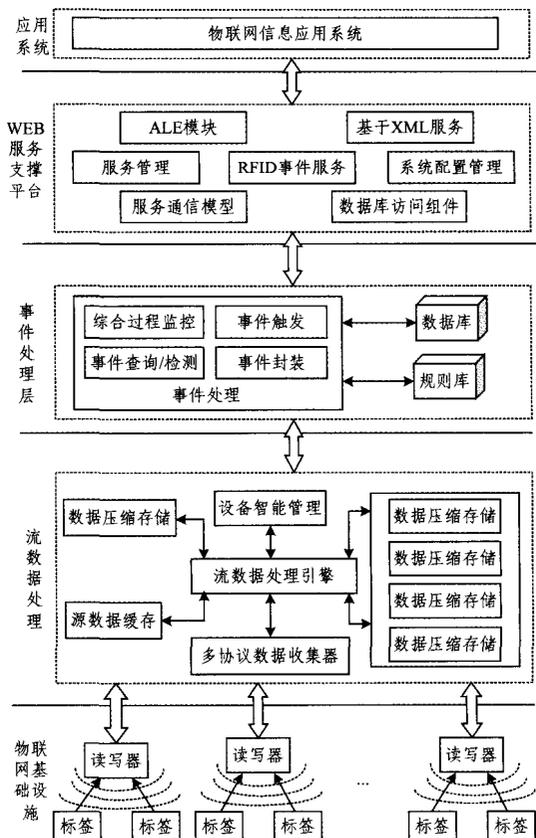


图 2 嵌入式智能中间件平台总体架构

3.2 系统数据流程

本系统的数据处理流程主要为数据采集系统和数据处理系统,两个系统属于上下层的关系,实现对数据的分级处理,如图 3 所示。嵌入式数据采集系统实现不同数据特征和不同数据协议之间的相互转化,也处理具有流数据特征的 RFID 数据。多线程数据处理系统对 RFID 底层读取的事件进行分析、处理,通过业务事件的关联,提供更加丰富的语义信息,从而方便业务过程和 RFID 系统在整个企业业务流程中进行集成。

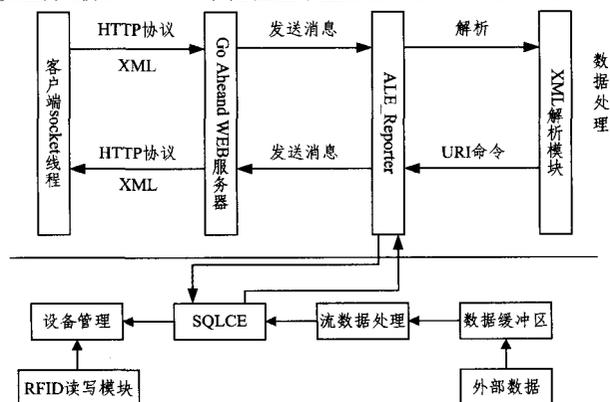


图 3 嵌入式中间件系统数据处理流程

3.3 系统控制调度机制

系统软件的高实时性是中间件系统的重要要求。由于嵌入式处理系统的多任务性,必须对不同重要性的任务进行统筹兼顾,以确保能够合理调度,保证每个任务及时执行,其任务调度流程如图4所示。而单纯通过提高处理器速度不仅没有效率而且无法完成^[16-18]。结合嵌入式运算资源的有限性,嵌入式控制调度机制对各个线程任务进行自适应负载均衡,最大程度地提高流数据处理吞吐率,在保证实时性的基础上,充分提高CPU的利用率。

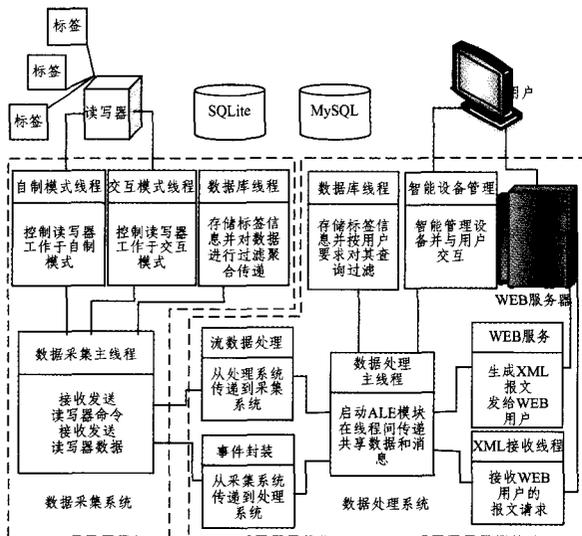


图4 系统线程任务调度流程

多线程数据处理系统主要实现流数据处理和设备智能配置管理。所有就绪的线程任务在线程就绪表中都有登记,根据线程就绪表就可以找到最高优先级的任务并进行自适应计算。任务的切换就是保存原来任务的数据到该任务的私有堆栈中,从最高优先级的任务堆栈中获得被中断的数据,指向该任务的代码段并运行该段代码。系统中的线程及详细功能如下。

(1) 数据处理系统主线程

主线程启动并监控数据处理系统,启动ALE协议处理和事件封装处理模块,并通知数据采集系统启动流数据处理引擎。负责系统中各线程间消息和数据的共享和传递。

(2) 智能设备管理线程

通过集成的嵌入式配置界面,进行RFID设备的远程监控与配置管理。支持读写器集成参数的远程监控与配置;提供对设备控制服务器工作参数的配置,以及性能参数的优化;支持RFID设备的集中管理。同时进行RFID设备的分组或分类管理。

(3) 流数据处理

流数据处理采用XML技术定义通用的RFID数据模型。为保证RFID流数据处理的实时性,利用概要数据结构、滑动窗口和流数据处理引擎等技术,实现单遍扫描数据集合情况下的实时数据查询、过滤、聚合等处理。

(4) 事件封装/语义分析处理

对RFID底层读取事件进行分析、处理,通过业务事件的关联,提供更加丰富的语义信息。同时,线程通过系统界面上的控件采集用户命令,当检测有事件产生时,主动向上层进行数据封装传送。

(5) Web服务线程

利用嵌入式Web服务GoAhead技术将标签数据按照XML格式存储、聚合,并针对物联网或RFID业务应用的需

求和功能特点,通过Web服务的封装和发布将不同企业的数据库业务应用通过服务的形式进行集成和整合,实现业务流程自动化。

(6) Web数据服务线程

负责数据库相关操作。将数据存储于嵌入式数据库中,接收XML线程的命令,从数据库中查询相应的数据传送给XML线程,供其生成报文发送给Web用户。

4 系统设计的关键点

4.1 嵌入式数据处理ALE接口

ALE是一个面向上层业务应用的服务接口。用户可以通过它从不同的数据源中得到经过合成过滤的EPC数据。在许多EPC处理系统中有一个处理的层面,那就是减少直接从数据源发来的数据量,典型的处理包括:从一个或多个数据源接收EPC数据,根据时间间隔集成数据,提供不同类型的报表,如图5所示。

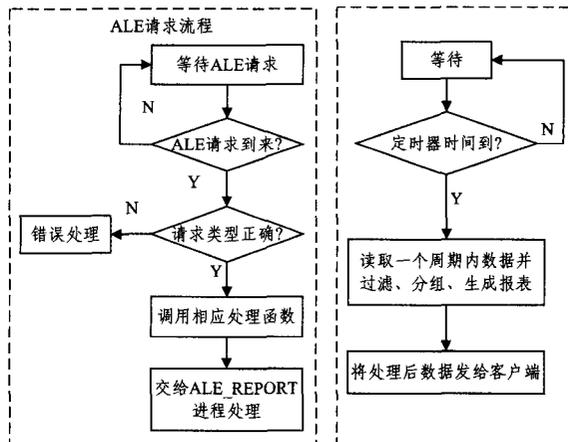


图5 ALE数据处理流程

4.2 受限嵌入式环境资源优化

嵌入式环境的软硬件受应用环境严格限制,资源相对较少,本系统采用Inter Xscal嵌入式处理平台和Linux系统。在处理底层传感器的海量数据时,资源管理优化成为必然要求。比如内存受限问题,除了考虑内存的分配算法能否最大限度地使用内存、减少碎片等问题之外,还要考虑内存泄漏的问题^[19-22]。本文采用这样一种解决内存泄漏的方法:人为地为动态分配内存规定一种依赖关系,从而使得这些动态分配内存之间建立起相互的联系,防止内存泄漏的产生。

4.3 嵌入式实时任务调度优化

在嵌入式系统中,存在多种任务处理需求,每个任务处理的实时性要求又是不同的,本文在一种基于截止时间优先级的动态调度算法基础上增加一个事件任务迫切度参数(C_p),提出一个改进算法:基于截止时间和事件优先级的动态调度算法(deadline-event-priority dynamic schedule, DEPDS),嵌入式中间件流数据引擎将传感器电子标签数据按照处理时间先后、标识信息、数据量等信息划分为不同等级,通过 C_p 参数反映。这种算法基于截止时间和优先级2个特征参数。这里的优先级指的是综合考虑任务的运行时间和事件迫切度而得到的一个全局优先级。优先级函数为:

$$d_i = D(T_i, C_i, P_i) = W_c C_i + W_p P_i \quad (1)$$

C_i 是任务 T_i 的事件任务迫切度,通过中间件流数据引擎的 C_p 表示。 P_i 为运行时间, W_c 和 W_p 分别为迫切度与运行时间权重,且 $W_c > W_p$ 。 d_i 越大,优先级越高。

$$d = D_{i,j} - (t + C_i) \quad (2)$$

$$\rho = \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{P_i} \leq 1 \quad (3)$$

式中, t 为系统当前时间, C_i 为 T_i 事件完成的估算执行时间, $D_{i,j}$ 为 T_i 的第 j 个实例截止时间。按照截止日期最早优先 (earliest deadline first, EDF) 算法, 如果 d 大于 0 则进行调度, 如果任意任务满足式(3)就能被处理。

在系统正常工作情况下按照可达截止期最早优先算法的调度方式运行, 在系统过载情况下, 先对所有任务按照全局优先级(式(1))分成 2 个组, 全局优先级较高的分为一个组, 全局优先级相对较低的分为另一组; 优先对全局优先级高的任务进行调度, 对优先级低的任务采用后台处理算法, 即在处理器空闲时调度非关键任务集中的任务。

5 系统开发与仿真验证

5.1 系统原型开发

本系统是基于 Intel XScale 嵌入式硬件处理平台和 Linux 系统开发的, 提供了功能完善的管理工具, 可以监控、管理 RFID 读写器的阅读器和组件的运行状况, 以及快速存取事件管理器的系统状态, 对异常发出警报, 设置服务查找地址, 还可用于在系统运行时修改事件管理器组件的各种读写属性等, 如图 6 所示。

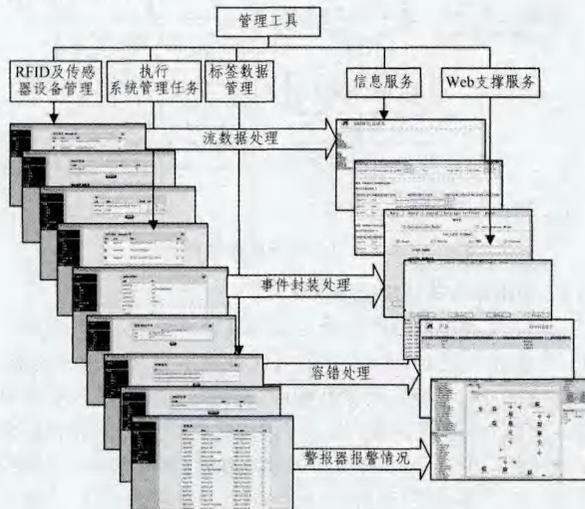


图 6 嵌入式中间件原型系统

5.2 优化仿真比较

本系统的实验软件平台是稳定可靠的开源 Linux Android 操作系统, 硬件平台是 Intel xscal 的 PXA270 嵌入式开发平台。在 Android 任务调度函数中, 通过随机函数产生多个周期任务, 其参数设置为: 任务规模为 0~32, 优先级为 0~32。利用传感器标签数目代表任务数, 任务周期、执行时间分别在 [20, 200]、[10, 50] 区间随机生成, 通过系统原有的未经改进的先来先服务 (first coming first scheduling, FCFS) 算法和本系统所采用的 DEPDS 优化算法分别运行。利用统计函数 $R_TaskStat()$ 来计算相对实际截止时间, 并根据公式计算任务截止期损失率:

$$RatED = \frac{m}{m+n} \quad (4)$$

在正常时间内, m 为错过截止期任务, n 为正常完成任务。从图 7 中可以看出标签数目(任务数)越大时, 优化产生的性能改进越明显。

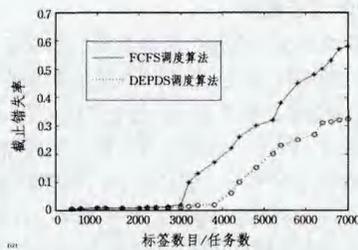


图 7 软件优化性能对比图

6 系统应用

6.1 系统应用示范

本项目的研究主要源于国家 863 项目“面向 RFID 的集成管理技术”、中科院先进制造基地创新课题“RFID 系统集成关键技术研究与应用”。在国家 863 计划支持下, 该系统已成功地应用在沈阳某航天发动机企业, 同时该系统已申请软件专利多项。该系统的实施将嵌入式中间件和 MES 系统集成起来, 能够高效地获得生产线的运行信息, 实现准确的产品谱系跟踪, 提高企业的运作管理。

6.2 应用存在的问题

(1) 安全性问题: 特定应用场合军工企业保密性要求对嵌入式中间件安全性提出更高要求, 需要在实际应用中具体分析应用环境中存在的安全隐患, 进一步研究数据加密技术、认证技术和反篡改技术^[23]。

(2) 传感器成本问题: 特别是电子标签, 目前的成本已经降到 10 美分左右, 但距企业大规模应用可以接受的价格还很远。

(3) 电子标签误识别问题: 在电子标签和一些传感器使用的过程中, 还不能保证标签 100% 的阅读率, 有时会出现漏读或者错误。

结束语 大规模 RFID 应用特别是移动 RFID 节点会产生海量的数据, 由于传统中间件数据采集和数据集中处理的局限性, 使得嵌入式信息处理技术成为必然要求。本文提出的嵌入式智能中间件是一种基于消息驱动的嵌入式信息处理系统, 在受限制的嵌入式资源环境下处理海量数据, 具有数据采集、适配、多协议多标准数据转换引擎、过滤和分发等功能, 可以实现面向智能感知环境的一体化网络互联与互操作、工业过程感知融合处理, 提高生产的柔性与时实响应能力, 可在一定程度上提高大型物联网应用系统的整体效率, 对解决大规模物联网应用中的数据问题具有一定意义。

参考文献

- [1] 朱洪波, 杨龙祥, 朱琦. 物联网技术进展与应用[J]. 南京邮电大学学报, 2011, 31(1): 1-9
- [2] 钱志鸿, 王义君. 物联网技术与应用研究[J]. 电子学报, 2012, 40(5): 1023-1029
- [3] 张乾, 沈颂. 基于无线传感器网络的物流自保护环路由协议[J]. 信息与控制, 2014, 43(2): 186-192
- [4] 陈海明, 崔莉, 谢开斌. 物联网体系结构与实现方法的比较研究[J]. 计算机学报, 2013, 36(1): 168-188
- [5] Shu J, Teo C P, Max S Z J. Stochastic transportation inventory network design problem [J]. Operation Research, 2005, 51(1): 48-60
- [6] 史浩山, 杨少军, 侯蓉晖. 无线传感器网络协作信号信息处理技术研究[J]. 信息与控制, 2006, 35(2): 226-228

- [7] Ma Lian-bo, Hu Kun-yuan, Zhu Yun-long, et al. Cooperative Artificial Bee Colony Algorithm for Multi-objective Network Planning[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2014, 42:143-162
- [8] 闫家昱. 嵌入式 RFID 中间件的设计与实现[D]. 大连:大连海事大学, 2013
- [9] 孙喜策, 曹峰, 王智. 一种面向多目标关联覆盖的无线传感器网络节点优化调度算法[J]. 信息与控制, 2009, 38(1):30-38
- [10] 邓毅华, 谢胜利. 嵌入式 RFID 中间件的设计与实现[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(7):1716-1719
- [11] 王汝传, 孙力娟. 无线传感器网络中间件技术[J]. 南京邮电大学学报, 2010, 30(4):37-41
- [12] Jarugumilli S, Grasman SE. RFID-enabled inventory routing problems[J]. International Journal of Manufacturing Technology and Management, 2007, 10(1):92-105
- [13] Ayoade J. Security implications in RFID and authentication processing framework[J]. Computers & Security, 2006, 25(3):207-212
- [14] C Chun-te, L Kun-lin, W Ying-chieh. Construction of the enterprise-level RFID security and privacy management using role-based key management[C]//IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. 2006:3310-3317
- [15] Kang J W, Ahn B C, Kim K J. Evaluation of safety for the 900MHz RFID reader of defense ammunition management system[J]. International Conference on Information Science and Security, 2008, 12(66):220-223
- [16] Z Min, W Li, W Zhong-yun, et al. A RFID-based material tracking information system[C]//2007 IEEE International Conference on Automation and Logistics. 2007:2922-2926
- [17] 罗刚, 郭兵, 沈艳, 等. 程序级和算法级嵌入式软件功耗特性的分析与优化方法研究[J]. 计算机学报, 2009, 32(9):1870-1873
- [18] 张文新, 邓毅华, 谢胜利. 基于嵌入式 RFID 中间件的标签数据处理[J]. 微计算机信息, 2009, 5(5-2):182-190
- [19] 韩磊, 梅佳希, 袁巍, 等. 基于语义分析的嵌入式 RFID 中间件研究[J]. 微计算机信息, 2010, 26(5-2):133-136
- [20] 马连博, 胡琨元, 朱云龙, 等. 基于 RFID 的基带通信 IP 核的设计与系统仿真[J]. 计算机工程, 2009, 35(15):275-276, 279
- [21] 龙昭华, 漆动波. 一种嵌入式系统自适应调度算法研究[J]. 重庆邮电大学学报, 2009, 21(5):654-657
- [22] Ma Lian-bo, Hu Kun-yuan, Zhu Yun-long, et al. A Novel Hybrid Artificial Bee Colony Optimizer[J]. Applied Mathematics and Computation, 2015, 252:133-154
- [23] Xiao Z H, Guan Z Q, Zheng Z H. The research and development of the highway's electronic toll collection system[J]. International Workshop on Knowledge Discovery and Data Mining, 2008:359-362

(上接第 221 页)

于发生在 VM2 中的接收操作产生的性能开销较小, PAMM 带来的影响也相对较小。

结束语 Xen 基于内存共享的域间通信可以提高运行在相同物理机上的虚拟机间的通信效率, 但是内存共享过程中的根-非根状态切换影响了它的通信优化能力, 当通信数据量较大时, 大量的状态切换导致了通信性能的下降。为了优化基于内存共享的域间通信, 本文通过对内存共享过程的分析, 得到了使用内存共享进行数据通信时对通信性能产生影响的因素, 引入内存页聚合管理模型 PAMM, 对通信进行了性能优化。PAMM 中包含一个页面管理模块, 通过聚合相邻的传递内存页较少的页面传递, 减少通信中的超级调用申请次数, 优化 CPU 的使用效率。实验结果证明, 当通信数据达到一定输入量后, PAMM 能够较好地优化通信性能。但是, 通过实验发现, 管理模块的参数设定变化会对 PAMM 的性能产生影响。

基于本文的工作, 未来的研究主要集中在参数设定对内存页聚合管理模型性能的影响以及探索更有效的优化方案。

参 考 文 献

- [1] Zhang X, McIntosh S, Rohatgi P, et al. Xensocket: A high-throughput interdomain transport for virtual machines [C]//Proceedings of the ACM/IFIP/USENIX 2007 International Conference on Middleware. New York, USA: Springer-Verlag New York, Inc. 2007:184-203
- [2] Huang W, Koop M, Gao Q, et al. Virtual machine aware communication libraries for high performance computing[C]//Proceedings of the 2007 ACM/IEEE conference on Supercomputing. New York, NY, USA: ACM, 2007
- [3] Wang J, Wright K, Gopalan K. Xenloop: A transparent high performance inter-VM network loopback [J]. Cluster Computing, 2009, 12(2):141-152
- [4] Bughzala B, Ben Ali R, Lemay M, et al. OpenFlow supporting inter-domain virtual machine migration[C]//2011 Eighth International Conference on Wireless and Optical Communications Networks(WOCN). IEEE, 2011:1-7
- [5] Llopis P, Blas J, Isaila F, et al. VIDAS: object-based virtualized data sharing for high performance storage I/O[C]//Proceedings of the 4th ACM workshop on Scientific cloud computing. ACM, 2013:37-44
- [6] Ning F, Weng C, Luo Y. Virtualization I/O optimization based on shared memory[C]//2013 IEEE International Conference on Big Data. IEEE, 2013:70-77
- [7] Zhang Q, Liu L, Ren Y, et al. Residency Aware Inter-VM Communication in Virtualized Cloud: Performance Measurement and Analysis[C]//2013 IEEE Sixth International Conference on Cloud Computing(CLOUD). IEEE, 2013:204-211
- [8] 怀进鹏, 李沁, 胡春明. 基于虚拟机的虚拟计算环境研究与设计[J]. 软件学报, 2007, 18(8):2016-2026
- [9] Shi Lin, Chen Hao, Sun Jian-hua, et al. vCUDA: GPU-Accelerated High-Performance Computing in Virtual Machines[J]. IEEE Transactions on Computers, 2012, 61(6):804-816
- [10] Dong Y, Yang X, Li J, et al. High performance network virtualization with SR-IOV[J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2012, 72(11):1471-1480
- [11] 石磊, 邹德清, 金海. Xen 虚拟化技术[M]. 华中科技大学出版社
- [12] Barham P, Dragovic B, Fraser K, et al. Xen and the art of virtualization[C]//Proceedings of nineteenth ACM Symposium on Operating Systems Principles(SOSP19). 2003:164-177
- [13] Bourguiba M, Haddadou K, Korbi I E, et al. Improving network I/O virtualization for cloud computing [J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2014, 25(3):673-681
- [14] Netperf[EB/OL]. <http://www.netperf.org/netperf>