

嵌入式 RFID 中间件系统的研究与实现

李波, 谢胜利, 苏翔

(华南理工大学电子与信息学院, 广州 510640)

摘要: 射频识别技术(RFID)中间件是 RFID 系统中前端阅读设备与后端数据处理系统之间的一个中枢环节, 屏蔽阅读器差异为数据处理的客户端提供了一个统一的开发平台。在研究 EPCglobal 的基础上, 提出一种嵌入式 RFID 中间件系统, 分别从硬件的框架设计与结构组成以及软件的架构与实现方法两方面对嵌入式 RFID 中间系统件进行讨论, 并介绍了具体的实现。在实际 RFID 系统的应用当中取得良好的效果, 证明了该中间件系统的可行性。

关键词: 射频识别技术; 中间件; 嵌入式系统

Research and Implementation of Embedded RFID Middleware System

LI Bo, XIE Sheng-li, SU Xiang

(School of Electronic and Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640)

【Abstract】 The Radio Frequency Identification(RFID) middleware is an important part between the interrogator and the data process system in RFID systems, in which the RFID middleware can shield the difference of the various interrogators and supply a uniform interface for the development and implementation of the background data process system. After carefully researching the EPCglobal, an embedded RFID middleware system is designed and implemented. This paper introduces the architecture of the hardware and the framework of the software of the software, and demonstrates an implementation method for the embedded RFID middleware system. The embedded RFID middleware introduced in this paper has been used in RFID systems, and its feasibility is proved.

【Key words】 Radio Frequency Identification(RFID); middleware; embedded system

1 概述

自动识别技术因其为人们提供在人员、动植物、货物和产品之间交换数据的手段, 近年来, 被广泛应用在服务业、零售业和生产制造业、物流等行业, 它能显著提升企业的自动化管理水平, 降低运营成本。在这个领域里, 条码技术最为人们所熟知, 但新一代自动识别技术——Radio Frequency Identification(RFID), 正有取而代之的势头^[1-2]。

RFID 技术采用半导体芯片存储数据, 通过射频信号实现存储芯片与阅读器之间非接触数据交互。该技术具有物体识别速度快、多目标识别和非接触识别等特点, 被认为是 21 世纪最有发展前途的信息技术之一。RFID 技术以工作频段可分为: 低频(LF), 高频(HF), 超高频(UHF)和微波(MW)等类型; 以工作方式可分为主动、半主动和被动 3 种方式^[3]。

RFID 系统由阅读器、标签和 RFID 软件系统 3 部分组成而成。在应用时, 只需将标签安置在物体表面, 通过阅读器可在相隔一定距离上自动识别物品。阅读器通过射频信号与 RFID 标签进行信息交互, 读取内标签中所存储的有关物品数据, 提交数据给 RFID 软件系统^[4]。RFID 软件系统根据内置规则对信息进行加工处理, 识别物品。由于它的自动化程度高、处理速度快、准确性高, 已被广泛应用于众多行业^[1,3]。

2 RFID 中间件概述

RFID 中间件是一种消息中间件基于 RFID 阅读器向上层应用系统提供服务, 应用系统通过中间件提供的 API 读取阅读器数据和控制阅读器动作, 此外中间件的功能不仅是传递

消息, 还必须包括数据安全、数据解释、网络管理、差错控制等服务功能, 屏蔽底层硬件差异, 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。

3 系统硬件平台

本文讨论的中间件硬件平台如图 1 所示, 图中所示的 3 个模块: 主控模块, 基带模块和射频模块是 RFID 阅读器最主要的 3 个组成部分。其中, 主控模块是中间件系统的主要硬件平台, 包括 ARM、SDRAM、FLASH、电源、串口等部分, 在 RFID 系统中主要完成如下任务:

- (1)与第三方应用系统通信, 并解析第三方应用系统的动作指令控制阅读器工作;
- (2)配置阅读器系统;
- (3)控制阅读器与电子标签的交互。

在图 1 中的另外 2 个模块, 基带模块与射频模块, 在整个 RFID 系统中处于底层, 负责基带将主控模块的命令调制成高频信号, 通过天线以电磁波的形式发送出去, 并把接收到的高频信号解调成数字信号, 经过 DSP 处理把消息发送给主控模块。本文主要讨论在基带模块平台上架构和实现中间件系统, 所以对基带模块和射频模块不作具体分析。

基金项目: 广东省科技攻关基金资助重点项目(005A1150100)

作者简介: 李波(1978-), 男, 博士研究生, 主研方向: 信号处理, RFID 技术; 谢胜利, 教授、博士、博士生导师; 苏翔, 硕士研究生

收稿日期: 2007-09-13 **E-mail:** bill.Leebo@gmail.com

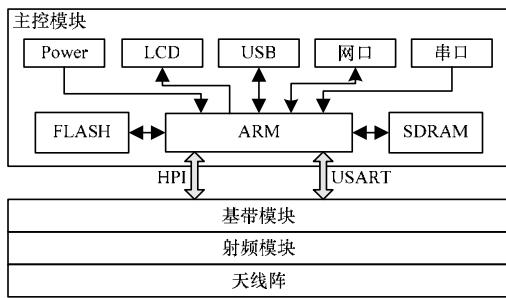


图 1 嵌入式 RFID 中间件硬件平台

在主控模块中，ARM 作为主要的控制部件，是一个 16/32 位嵌入式微控制器，主频为 180 MHz，内部集成了 ARM9TDMI, MMU 和 Cache。其中，MMU 可以管理虚拟内存，同时在 ARM 内部又嵌入了 16 KB SRAM 和 128 KB ROM，在 ROM 中固化了系统的加载程序，它具有下载嵌入式操作系统引导程序的基本功能。在系统上电时配置其他芯片的功能寄存器，在正常状态下调度控制整个系统工作，通过片内以太网控制器控制物理层芯片发送码流。

FLASH 是一种非易失性存储器，在系统掉电后信息不会丢失，具有低功耗、容量大和读写速度快的特点，在系统中通常用于存放程序代码等一些在系统掉电后需要保护的用户数据。支持串行和并行 2 种数据接口，串行接口工作时钟可达 20 MHz，并行工作时钟可达 5 MHz，具有 8/16 位数据宽度，工作电压是 3.3 V，与 ARM 通过 4 根同步串行信号线相连。

SDRAM 不同于 FLASH，它不具有掉电数据保护能力，但存取数据的速度快，具有读/写的属性，在系统中主要用作程序的运行空间、数据区及堆栈区。当系统启动时，CPU 首先从 FLASH 读取启动代码，在完成系统的初始化后，程序代码一般应调入 SDRAM 中运行，以提高系统的运行速度，同时，系统及用户堆栈、运行数据也都放在 SDRAM 中。它具有 8/16 位的数据宽度，工作电压为 3.3 V。为了提高程序执行速度，这里采用 2 片 SDRAM 拼接成 32 bit，与 ARM 直接相连，作为系统的动态存储空间。

4 架构与实现

本系统采用分层的软件体系结构，下层是 Linux 操作系统和各外设接口的驱动模块，包括 DSP 驱动、Device Driver(包括网口驱动、串口驱动等)。中间层是 WebServer(采用 GoAhead WebServer)和嵌入式数据库(采用 SQLite 数据库)，上层是阅读器管理 ReaderManagement, ProtocolServer 和 ALE 层，如图 2 所示。

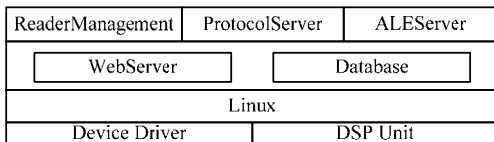


图 2 中间件软件架构

操作系统是中间件的基础，采用嵌入式 Linux 作为本嵌入式 RFID 中间件的操作系统，Linux 支持 TCP/IP, HTTP 等多种协议，省去了协议移植等复杂工作，降低了中间件的开发难度，缩短了开发周期。DSP 驱动、网口驱动和串口驱动是为 RFID 阅读器开发的驱动模块。

GoAhead WebServer 是中间件的基本软件架构，中间件的所有软件开发都是在这个架构上进行，GoAhead WebServer

作为中间件的一个数据转发平台和模块承载平台，中间件与客户端之间以及中间件内部各模块之间的数据通信都是由 GoAhead WebServer 来完成，模块承载平台的意思即是在 GoAhead 的基础上嵌入了 ALEServer, Database, ReaderManagement, ProtocolServer 模块等。

ALEServer 的主要功能是解决客户端的请求，并根据请求产生相应的报表数据，然后或是直接返回给请求客户端。这些面向客户端，向客户端返回报表数据的 API 就被视作一个接口层，它位于 RFID 标签阅读层和应用逻辑层之间。

数据库采用 SQLite，用来存储来自阅读器的标签数据。SQLite 嵌入式数据库提供了大部分标准 SQL 语言操作，且体积小速度快，能够满足数据的实时要求。

ReaderManagement 是阅读器管理模块，负责设置本阅读器的工作状态和工作模式。ProtocolServer 是阅读器协议服务器，它负责管理所有与该中间件阅读器相连的阅读器，是阅读器协议在中间件上的实现，中间件系统中是屏蔽阅读器物理层的重要部分。ALEServer 是 ALE 协议服务器，它负责向上层应用程序提供标准的 ALE 接口，另外它还负责收集、过滤和分组下层的数据。该模块是 RFID 中间件的核心。

4.1 GoAhead WebServer

GoAhead WebServer 面向嵌入式系统的 Web 服务器，主要功能模块有 Security 模块、GoForm 模块、CGI 模块、SSL 模块。其中，Security 模块中又包含内存数据库模块，主要负责存储用户信息，以及提供保密安全机制；GoForm 模块主要负责处理客户提交的表单数据，并以 Web 页面的形式返回相应的处理结果；CGI 模块主要处理客户的 CGI 请求；SSL 模块在 GoAhead 中实现了 SSL 协议。

之所以在嵌入式中间件中用到 GoAhead WebServer，除了上面所述的 GoAhead 的功能之外，另外一个原因是可以对 GoAhead WebServer 进行扩展，可自由加载和卸除一些功能模块。最重要的是可以在 GoAhead WebServer 上增加 ALE 模块来实现 EPCglobal 关于 ALE 的规范，并且由于 ALE 模块功能类似于 GoForm 模块，可以利用 GoAhead 本身提供的大量函数，从而减小了所增加的 ALE 模块体积，以及减少开发的复杂度。

4.2 ALEServer

Application Level Events(ALE)是一个面向上层业务应用的服务接口。通过它，用户可以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。

ALE 接口类型包括 ECSpec 定义/取消定义、ECReports 获取和其他辅助接口。ECSpec 定义/取消定义接口包括 define()和 undefine()接口，ECReports 获取接口包括 poll()和 immediate()接口，辅助接口包括 subscribe(), unsubscribe(), getECSpec(), getSubscribers()等。ALE 中定义了 2 个重要的数据结构 ECSpec 和 ECReports。ECSpec 定义了事件周期的计算方式，以及报表的产生方式；ECReports 是中间件收集一个事件周期内的标签数据所产生的报告，包含了将要返回的标签数据、数据的格式，以及时间等辅助信息。

ALE 工作在同步模式下，客户端直接调用 immediate()接口，通知中间件开始工作，若需要触发器触发，ECSpec 切换到 Requested 状态，如无需触发器触发，其状态直接切

换到 Active 状态;在需要触发器触发的情况下,基于 ECSpec 定义的采集方式(或触发器启动,或周期轮询)聚合单一事件周期内所有读周期获取的 EPC 信息,生成 ECReport,发送给客户端,ECSpec 切换到 Active 状态。

4.3 GoAhead WebServer 与 ALEServer 处理流程

在 GoAhead WebServer 中,ALE 的位置和处理流程类似于 GoForm 模块,都是接收和处理客户端的 URL 请求,不同的是 GoForm 模块处理的是客户的请求,接收客户提交的表单,分析、处理表单数据,存储在 GoAhead 的内存数据库中,GoForm 模块处理的 URL 请求指明为 GoForm 类型,如 http://server/goform/...,而 ALE 请求的 URL 中包含了 ALE 请求类型以及 ALE 标准接口的函数名,如 http://server/ale/command。

中间件有 2 个主要的工作进程:GoAhead 进程和 ALE-Report 进程。GoAhead 进程主要负责前端来自客户端的命令和数据接收工作,再转发给 ALE-Report 进程。而 ALE-Report 进程专注于中间件后端数据的处理以及报告的生成。当中间件收到客户的 ALE 请求后,先判断请求类型,然后根据请求类型调用相应的 ALE 接口函数进行处理,ALE 接口函数再将客户的 ALE 请求及附带的 XML 数据,由 GoAhead 进程通过 CMD CHANNEL 发往 ALE-REPORT 进程,然后在 ALE-Report 进程中作下一步的处理:读取阅读器在一个事件周期里收集的数据,过滤和分组后生成报表,返回给客户端。图 3 说明了 ALE 模块在 GoAhead 中的位置以及 ALE 模块的处理流程。

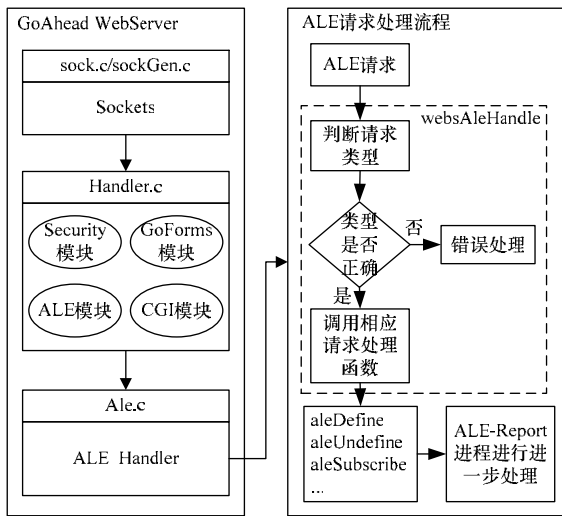


图 3 GoAhead WebServer 及与 ALEServer 处理流程

GoAhead 进程和 ALE-Report 进程之间通过一个设计好的命令通道(CMD CHANNEL)进行命令和数据传输。CMD CHANNEL 用消息队列和信号量来实现进程间通信,信号量用来实现进程间的互斥,消息队列用来传递数据,消息队列的优点是支持字节流的数据传输,一个消息队列中不同消息之间可通过设置消息类型来进行区别,每条消息之间互不影响和干扰。由于 ALE 提供多种与客户端的接口,每个接口就是一个 ALE 命令,于是可以设置命令类型为消息类型,实现了 GoAhead 进程向 ALE-Report 进程发送命令的过程。

4.4 数据流

嵌入式 RFID 中间件系统采用 GoAhead 作为嵌入式 Web Server,SQLite 作为嵌入式数据库,所以 SQLite 的应用开发是在 GoAhead 基础上对数据接收、过滤、平滑以及提交。客

户端将用户填写好的表单以 XML 的格式通过 http 协议发送到服务器端,服务器端在 GoAhead 进程中的主线程接收该 XML 文件,然后将该文件原封不动地用命令消息通道 CMD_CHANNEL 传给 ALE 子进程,ALE 子进程中通过 XML 解析模块把 XML 文件解析出来,将提取出的数据存入 ECSpec 结构体中,发送到 SQLite 数据库模块中。另一端,阅读器通过天线将读到的 EPC 数据发送到 DSP 端,DSP 驱动再将数据发送到 Receive 模块中,由 Receive 模块滤除重复多余的 EPC 码,并屏蔽各种不同阅读器数据格式的差异,统一数据格式后将数据送入到数据库 SQLite 中,成为数据库操作的数据源。数据库端根据用户订阅的 ECSpec 中的 URI 命令执行完成之后将查询结果发送到 ALE 模块中,ALE 模块将结果数据以 XML 的形式再加上 IP 信息,最后用数据消息队列传给 GoAhead 父进程中的 ReportXml 线程提取其 IP 信息,根据 IP 信息,把报表 XML 文件用 TCP 协议发送出去。在客户端有一个进程在用 TCP 监听某个端口,来接收该报表 XML 文件,数据流如图 4 所示。

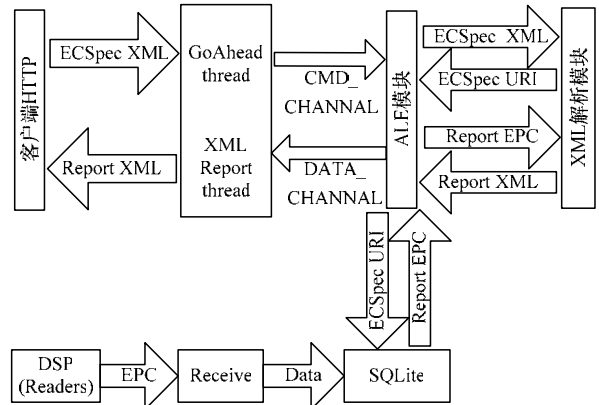


图 4 数据流示意图

5 结束语

RFID 中间件是 RFID 技术的一个重要组成部分,扮演着底层阅读器硬件和上层应用系统的中介角色,对屏蔽阅读器差异、加速开发上层应用系统和推广 RFID 技术具有重要的意义。本文主要从软件和硬件 2 个方面分析论述了嵌入式 RFID 中间件系统的架构和实现,并着重介绍了 GoAhead WebServer 和 ALEServer 2 个关键部件的结构和工作原理。依据该设计方案实现的嵌入式 RFID 中间件系统已应用在工作频段为 915 MHz 的阅读器,对后端数据处理系统提供了很好的支持,取得良好的效果。

参考文献

- [1] Kim I, Lee B, Kim H. Privacy Protection Based on User-defined Preferences in RFID System[C]//Proc. of the 8th International Conference. Phoenix Park, Korea: [s. n.], 2006: 858.
- [2] 李波,刘震宇,谢胜利. RFID 在现代军事领域的应用探讨[J]. 电脑与电信, 2006, (7): 16.
- [3] Finkenzeller K. 射频识别(RFID)技术[M]. 陈大才,译. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2001.
- [4] EPCglobal Inc. Version 1.0.9-2004 Radio-frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860 MHz-960 MHz[Z]. 2004.