

# EPA 通信协议在嵌入式 Linux 上的设计与实现

王晓燕, 王 平

(重庆邮电学院重庆市网络控制技术与智能仪器仪表重点实验室, 重庆 400065)

**摘 要:** 针对嵌入式系统的资源受限问题, 提出了 EPA 通信协议在内存管理和资源同步等方面的一种设计方案。采用静态内存池的方式来避免内存碎片问题, 使用阻塞/唤醒机制来同步多线程, 使用互斥锁来互斥访问临界资源, 从而提高 EPA 通信协议的实时性和稳定性; 给出了 EPA 通信协议主要模块在嵌入式 Linux 下的实现过程及 EPA 协议的一致性测试结果。

**关键词:** EPA 通信模型; 嵌入式应用软件; 内存池

## Design and Implementation of EPA Communication Protocol on Embedded Linux

WANG Xiaoyan, WANG Ping

(Chongqing Key Lab of Network Control Technology & Intelligent Instrument,  
Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065)

**【Abstract】** This paper puts forward design of memory management and resource synchronization, which avoid memory fragmentation by memory pool, synchronize multithread by block/wake up mechanism, access critical section by mutex. This design aim to improve the real-time and stability of EPA protocol. It accordingly illustrates the framework of several modules, supplies with the result of EPA protocol's consistency test.

**【Key words】** EPA communication model; Embedded software; Memory pool

重庆邮电学院作为核心单位参与制定了国家标准《用于工业测量与控制系统的EPA(Ethernet for plant automation)系统结构和通信标准》(简称“EPA标准”)<sup>[2]</sup>, 在此基础上形成的65C/357/NP以95.8%的得票率被国际电工委员会IEC发布为IEC/PAS 62409<sup>[3]</sup>、作为第14类型列入实时以太网国际标准IEC 61748-2、即将作为第14类型列入现场总线国际标准IEC 61158<sup>[4]</sup>(修订版)。

EPA 标准定义了现场设备之间的通信协作、为应用程序提供的服务接口以及相关管理方面的规范。所有 EPA 设备在工业自动化生产现场环境下协调工作, 共同完成生产过程和操作中的 I/O 数据采集和自动化控制。EPA 现场设备是用 EPA 协议进行通信的嵌入式设备, 有时间和精度上的要求。选择在嵌入式 Linux 上开发 EPA 通信协议, 必须针对嵌入式应用环境的特点来进行设计和实现, 才能保证整个控制系统的稳定性、确定性和实时性。

### 1 EPA 通信模型

EPA 通信模型参照 ISO/OSI 通信参考模型, 取其物理层、数据链路层、网络层、传输层、应用层, 并在应用层之上增加用户层(采用 IEC61499/61804 标准), 在网络层和 MAC 层之间增加 EPA 实时通信管理接口, 构成 6 层结构的通信模型。其中通过数据通信调度控制策略结合以太网交换技术、流量控制技术、简化通信协议层次、现场设备网络微网段化等手段来解决以太网用于现场设备通信的实时性。下面简要介绍 EPA 通信模型中的重要模块, 即图 1 中的阴影部分。

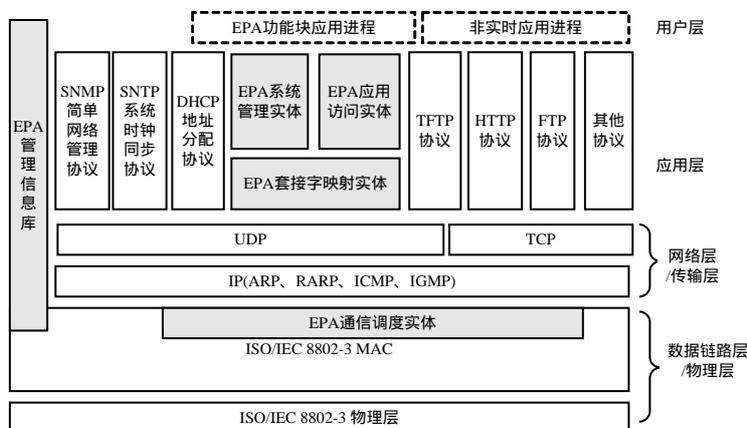


图 1 EPA 通信模型

(1) EPA 的应用层是根据实际任务设计的由驻留在一个 EPA 设备或分布在几个设备中的功能块实例组成一个功能块应用进程, 执行一个或多个自动监视、测量与控制功能。EPA 设备中至少包括一个功能块实例, 它是一个功能块单元的实例化。

(2) EPA 应用访问实体描述通信对象、服务以及与上下层接口的关系模型。为组成一个功能块应用进程的所有功能块实例间的通信提供通信服务, 这些服务包括域上载/下载服务、变量访问服务、事件管理服务。通过这些服务, 组成功能块应用进程的功能块实例之间就可以实现传输测量、控制

**基金项目:** 国家“863”计划基金资助项目(2004AA412020)

**作者简介:** 王晓燕(1980-), 女, 硕士生, 主研方向: 工业以太网及网络控制技术, 嵌入式系统等; 王平, 博士、教授、博导

**收稿日期:** 2006-03-30 **E-mail:** wang-swallow@hotmail.com

值, 下载上载程序, 发出事件通知处理事件等功能。

(3)EPA 系统管理实体用于管理 EPA 设备的通信活动, 将 EPA 网络上的多个设备集成为一个协同工作的通信系统。EPA 管理功能块实体支持设备识别、设备定位、地址分配、时间同步、EPA 链接对象管理以及功能块调度等功能。

(4)EPA 套接字映射实体提供 EPA 应用层实体服务以及 EPA 管理功能块服务实体与 UDP/IP 之间的映射接口, 它具有报文优先发送管理、报文封装、应答信息返回和链路状况监视等功能。

## 2 多任务嵌入式软件设计中的关键技术

嵌入式系统软件和应用软件的要求也与通用计算机软件的要求有所不同, 对内存管理的普遍要求是最小的碎片、最小的管理负载、和确定的分配时间; 嵌入式应用软件也常常被设计为多个并发得线程、任务或进程, 以达到软件效率最大化。

### 2.1 池式内存管理

本协议要反复用到很多大小不一的内存, 如果每次都动态分配释放就会导致内存碎片。Linux 内核在处理 TCP/IP 碎片重组机制中存在漏洞, 不正确处理部分类型的网络通信, 使系统消耗过多资源, 最终造成拒绝服务。所以采用固定尺寸的内存管理, 即将使用的内存划分为各种尺寸的内存池, 相同的内存池中所有块具有相同尺寸, 不同内存池按尺寸排序。每个内存池都有一个控制结构来进行管理, 这个结构中保留块尺寸、总块数和空闲块数等信息, 通过查询此控制结构链表就可以发现第一个合适的块。一个成功的分配导致从内存池中移走一个项; 一个成功的回收导致一个项插入到内存池的后面, 这样就避免了动态内存分配引起的内存碎片, 内存的分配和归还效率很高, 从而提高实时响应能力。当然内存粒度的设置要合理才能尽量减少内部内存碎片。

参照图 2 中的 EPA 报文队列部分。根据服务报文可能的收发频度不一和报文长度有长有短, 设计了 3 个粒度不同的内存池, 图 2 中表现为 3 种单元大小。为了保证按优先级发送服务报文和防止接收端报文溢出, 设计了具有 3 个不同优先级的发送队列和一个无优先级的接收队列。这些队列单元中存放着指向所分配内存的指针。内存单元作为报文信息的载体, 在报文发送到网络上后立即被释放回内存池, 以被充分利用。

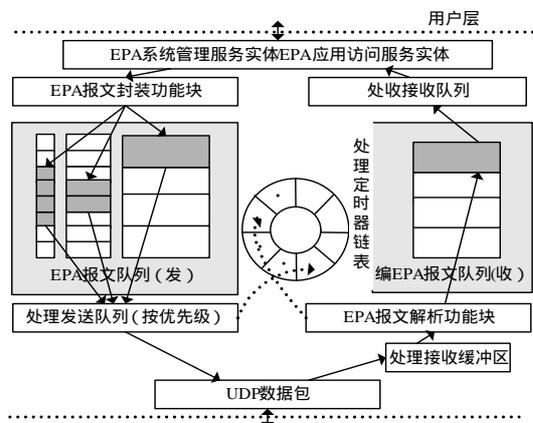


图 2 EPA 套接字映射接口的构件

### 2.2 多任务的同步与互斥

本协议主要靠发送线程和接收线程来完成报文的接收和发送, 通过发送优先级队列和接收队列进行消息通信。这里,

发送线程从发送队列读出, 接收线程从接收队列读出。发送队列和接收队列需通过互斥锁来进行互斥访问, 发送线程和接收线程在 Linux 下可以采用唤醒/阻塞机制进行同步。即当发送优先级队列内容为空就阻塞发送线程, 在发送优先级队列由空变满时唤醒发送线程; 当接收队列为空就阻塞接收线程, 在接受队列由空变满时唤醒接收线程。此过程要在有元素要插入或取出时进行判断, 伪代码如下:

```

插入元素:
THREAD_LOCK(mutex);
IF 队列为空 THREAD_SIGNAL(condition);
//队列为空时, 插入新元素要唤醒任务
ELSE 插入新元素
THREAD_UNLOCK(mutex);
取出元素:
THREAD_LOCK(mutex);
IF 队列非空取出新元素, ELSE break;
THREAD_UNLOCK(mutex);
THREAD_WAIT(condition, mutex);
//队列为空时, 阻塞取元素的任务。
    
```

## 3 通信协议设计实现

### 3.1 EPA 套接字映射接口

EPA 通信协议的应用层服务实体为用户应用进程间的数据通信提供了接口, 定义了一系列必要的服务来保证在开放、互联的环境下实现分布式控制。EPA 服务报文分为 EPA 系统管理服务报文和 EPA 应用访问服务报文。用户层功能块调用相应 EPA 服务后, EPA 套接字映射功能块根据请求服务的类型和发送的信息大小, 首先从内存池中申请内存; 然后调用 EPA 报文封装功能块封装待发送的信息; 最后将封装好的 EPA 报文放入预定的优先级发送队列。如图 2 所示, EPA 套接字映射接口通过以下 4 个线程来提供 EPA 应用层实体服务以及 EPA 管理功能块实体与 UDP/IP 之间的映射, 完成报文优先发送管理、报文封装、应答信息返回和链路状况监视等功能。

(1)处理接收缓冲区的线程: 不断取出收到的 UDP 包, 若是 EPA 报文(端口号正确, 服务号正确), 就将解析出的 EPA 包存入接收队列进行缓存。否则, 直接丢弃。

(2)处理接收队列的线程: 将缓存的 EPA 报文直接送到应用层服务实体进行处理。若收到期待的响应报文, 要首先移除定时器链表中的定时器。EPA 应用层服务实体根据收到报文所传送的信息, 自动完成协议状态机规定的动作, 返回响应报文或证实报文。

(3)处理发送队列的线程: 取出优先级最高的队列中的报文进行发送。对于证实服务的请求报文, 需在发送成功后在定时器链表中添加一个与报文号(MessageID)相关定时器, 以便对超时报文进行重发; 对于无证实服务, 直接发送即可。

(4)处理定时器链表的线程: 自动清除超时的定时器, 并发出超时报警。

### 3.2 EPA 应用访问实体和管理功能块实体

这两部分应用层根据接口请求的服务类型完成协议状态机的转换工作, 报文是信息的载体。EPA 报文封装功能块根据调用接口传递的服务请求和发布的信息来封装报文; EPA 报文解析功能块根据收到的报文服务号还原出报文信息。由于 30 多种服务报文的处理过程相似, 抽象出如下 HandleTable 结构, 根据传递进来的服务类型号进行调用。每个 HandleTable 结构包含 3 个函数指针成员。在处理发送队列线

(下转第 277 页)