

嵌入式网络连通检测器的实现

张文芊, 廖惠敏, 訾国伟

(北京交通大学 信息科学研究所, 北京 100044)

摘要:介绍了以太网连通错误管理(CFM)的技术背景,指出纯软件开发的以太网的CFM模块具有局限性,并无法满足协议多变的特点。该模块是在SOPC系统上实现IEEE 802.1ag协议中连通性检测功能。系统采用Altera公司提供的DE2开发板作为实现平台,实现了能以毫秒级速度发送及分级告警的嵌入式网络连通检测器。用两个开发板模拟一个小型的网络,通过PC机来对开发板进行操作和控制,利用对开发板上的LCD显示屏及LED显示灯进行监测,验证连通检测器的功能及性能。

关键词:以太网;网络连通检测;连通错误管理;嵌入式

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2008)01-0240-03

Realization of Embedded Connectivity Detector in Ethernet

ZHANG Wen-qian, LIAO Hui-min, ZI Guo-wei

(Information Science Institute, Beijing Jiaotong Univ., Beijing 100044, China)

Abstract: Firstly introduces the background of Ethernet connectivity fault management (CFM), and points out that the present technique developed by pure software is unable to satisfy the practical demand because of its limitation. Hope to realize the function of connectivity check in embedded system according to "IEEE 802.1ag" standard. The system uses the platform of DE2 develop boards provided by Altera Corporation to realize an embedded connectivity detector which can accomplish a millisecond transmission and the graduation fault alarm. With two development boards simulating a small network and two computers operating these two boards, the system can check the connectivity in Ethernet.

Key words: Ethernet; continuity check; connectivity fault management; embedded

1 网络连通检测器的技术背景及应用

以太网的运行管理和维护机制(OAM)^[1]是一个崭新的领域,它主要是通过故障检测、告警、定位和隔离等手段提高网络的运维水平^[2]。IEEE 802.1ag中将以太网OAM功能称为连通错误管理^[3](Connectivity Fault Management, CFM)。

目前,有很多企业已经在研究IEEE 802.1ag协议,并且已经完成了CFM功能的软件实现。由于软件设计本身存在很多弊端,笔者结合Altera公司SOPC的设计理念和先进的Nios软核处理器的优势,在嵌入式平台上开发出具有很强实效性的“网络连通性检测器”。网络连通检测器是由PC机配置网络实体,通过收发报文测试整个网络端到端的连通性,使用直观的LED和LCD将网络的状态显示给网络管理员,使管理

员能够动态地了解网络状态,对网络中发生的故障及时地进行定位,对配置性的错误和不期望用户的攻击,能够准确地定位错误发生的时间及其位置,极大地提高网络性能,降低网络维护成本。

IEEE 802.1ag协议目前依旧处于草案阶段,笔者通过对系统参数的重新配置和重组系统工程的下载以适应协议的变化。

2 网络连通检测器的实现

2.1 系统平台

使用了Altera公司提供的DE2开发板作为实验平台。该平台提供了:

(1) 网络控制芯片(DM9000):

实现高频率收发包,动态配置发包频率。

(2) 丰富的LED指示灯及LCD显示屏:

实现网络连通错误告警机制,可以动态显示告警错误。

(3) 系统定时器:

使用DE2的50MHz的晶振和SOPC Builder中的

收稿日期:2007-05-01

作者简介:张文芊(1985-),女,湖北荆门人,硕士研究生,研究方向为信号与信息处理;导师:丁晓明,硕士,副教授,研究方向为嵌入式系统、多媒体通信。

定时器实现发送 CCM 报文的时间过程。利用定时器中断实现该过程来驱动报文的发送。

(4) Nios6.0 的 C2H(C-to-Hardware)功能:

Nios6.0 新增了 C2H 功能,它可以将 C 语言代码转化成硬件加速模块,通过硬件加速运行来提高运行速度,提升系统性能。当有可以并行执行的代码时,C2H 能通过寄存器并行完成。本系统能将一部分具有重要性能的且对时间指标要求较高的 C 代码转化成硬件语言,使软件代码加速运行。

为了最小化系统,仅采用两块 DE2 开发板来模拟网络连接(如图 1 所示)。两块开发板之间用交叉电缆连接,两台 PC 机分别通过 JTAG 口对两个 DE2 开发板进行网络实体的配置。

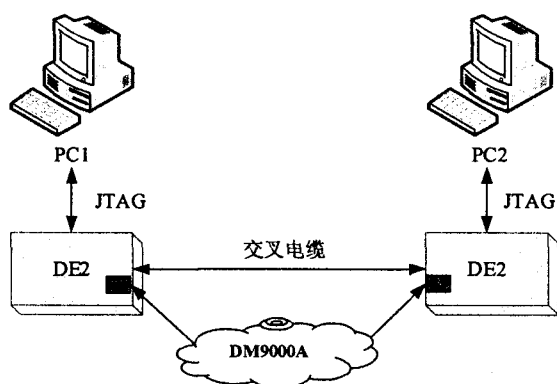


图 1 系统验证框图

2.2 网络连通检测器的实现原理

(1) 相关概念。

* 维护域^[3](Maintenance Domain): 连通过错误管理所覆盖的部分网络成为管理域,它的界限是由配置在端口上的一系列维护点(MP)所定义的,具有层次级别,用 0~7 的整数表示。

* 维护集^[3](Maintenance Association): MD 中的一个集合,包含一些 MP。维护集(MA)服务于一个 VLAN,MA 中的 MP 所发送的报文在该 VLAN 内被转发,同时也接收 MA 内其它维护点发送的报文。

* 维护端点^[3](Maintenance association End Point): 维护连接的终结点,可以收发任何 CFM 报文。每个维护端点(MEP)用一个整数来标识,称为 MEPID。MEP 配置在端口上,属于某个 MA,它确定了 MD 的范围。

(2) CFM 的连通检测(CC)实现原理。

网络连接正常时,每个 MEP 周期性地发送多播 CCM 报文,目的地址为多播地址。

终端 MEP 接收到 CCM 时,将报文存放到该 MEP 的 CCM 数据中,按 MEPID 来存放。CCM 报文 Source TLV 中包含一个 MEPID Field,该字段指明发送 MEP

的 MEPID,本地 MEP 要对收到的 CCM 报文的 MEPID 进行比较,以确认 MA 中不存在重复的 MEPID,若出现重复的 MEPID,则说明网络配置错误或出现环路。

CCM 报文中的 Lifetime Field,表明远端 MEP 的报文生存时间,若生存时间内没有收到该 MEP 的 CCM,则认为本地 MEP 到该远端 MEP 的连接出错,同时此字段还指明了该 CCM 在数据库中的保留时间,超过该时间,CCM 报文将被丢弃,生存时间值一般是 CCM 报文发送间隔的 3.5 倍,因此一个 MEP 可以连续丢失两个 CCM 而不报错。

CCM 报文可以达到同 MA 中的任何 MEP,其它的 MEP 接收到来自同 MA 的 CCM 报文,提取报文信息存储到 CCM 数据库中,同时检查是否在规定时间内收到来自同一 MA 中所有其它 MEP 的 CCM 报文。接收端 MEP 获取报文中的 MEP 信息后维护远端 MEP 的状态,判决当前网络的状态,并通过 CCM 报文的接收处理判断连通性好坏。

2.3 网络连通检测器的实现

网络连通检测器主要分为配置网络实体、组包与发包、解析处理报文、告警机制四个模块:

(1) 配置及用户维护。

配置模块的流程如图 2 所示。

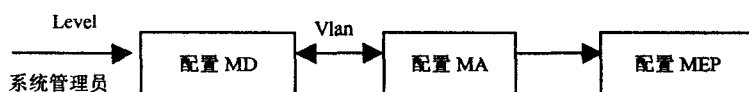


图 2 配置流程

用户通过 PC 终端输入自定义的配置命令来实现对应的配置功能。通过表 1 所列的配置命令,可以创建(删除)指定的 MD、MA、SI(服务实例)、MEP、RMEP(远端 MEP)以及 CC 的发送间隔。另外还有一些显示命令,可以为用户提供详细的网络信息,方便管理员查看网络状态。

表 1 命令行

序号	功能	参数一	参数二	参数三	参数四	备注
1	创建 MD	md-name	md-level			按照协议实现,md-level 及 interval 均为 0~7 的整数,mep-id 为 1~8191 的整数,md-name 和 ma-name 首尾字符均不能为下划线,中间可以由数字、字符以及下划线组成
2	创建 MA	ma-name	md-name	vlan-id		
3	创建 SI	si-id	md-name	ma-name		
4	创建 MEP	mep-id	si-id	port-id		
5	创建 RMEP	mep-id	mep-id	si-id	port-id	
6	设置 CC 发送间隔	interval	si-id			

(2) CC 组包及发送。

CC 的组包是由发送端 MEP 完成的。所要发送的 CC 报文封装在以太网帧中,其中主要内容有:发送 MEP 的 MEPID、发送 MEP 的 MAID 信息、发送 MEP

的发送 CCM 报文时间间隔等^[4]。

根据 IEEE 802.1ag/D6.9 协议,CCM 报文的发送周期可以从 1/3 毫秒至 10 分钟,用户可以根据自己的需要对其进行定义,CCM 发送级别所对应的时间间隔见表 2。

表 2 CCM 发送间隔

SendLevel	0	1	2	3	4	5	6	7
SendInterval	invalid	1/3ms	10ms	100ms	1s	10s	1min	10min

CCM 的发送是由 MEP Continuity Check Initiator (CCI)^[3]状态机来控制的,按配置的发送周期启动发送 CCM 报文的定时器来发送报文,本模块重点考虑的是实现毫秒级的发包,解决纯软件系统中只能设置最低间隔为 1 秒的问题。

(3) 解析处理 CC 报文。

接收端 MEP 收到远端发来的以太网帧后,按以太网报文格式根据报文头中携带的协议号判断是否 CCM 报文,不是则丢弃。接收端 MEP 解析报文信息后,判断 CCM 报文类型是下面三种报文的哪一种后进行相应的处理:

a. 错误 CCM 报文:接收到的报文的 MD、MA 配置一致,生存时间不一致;

b. 交叉 CCM 报文:MD、MA 配置不一致或 MD 的 Level 不同;

c. 正常 CCM 报文:接收到的报文的 MD、MA 配置一致,报文中的生存时间同 MEP 配置一致。

若接收到正常 CCM 报文,启动远端 MEP 状态机,处理成功表明两个 MEP 之间的连通成功;若该报文发送的 MEP 不是本地配置的 RMEP,触发丢失 CCM 报文告警。若该报文的发送 MEP 是本地所配置的 RMEP,且报文的 RDI 标志置位,表明发送端的 RMEP 的 CCM 报文丢失。

交叉 CCM 和错误 CCM 报文处理流程相似,当接收相应报文时,其状态机分别被启动,并在三个状态间跳转。

状态机的轮转采用定时器中断来实现。定时器时间精度依据定时器寄存器 Periodl 和 Periodh 确定。将其对应用户配置输入参数 CCM Interval,这样实现了管理员动态调整报文发送周期。

(4) 错误报警机制。

MEP 的错误告警是通过 FNG(Fault Alarm Generation)^[5]状态机来控制的。DE2 上 LED 指示灯的低四位来表征错误发生及其种类,LCD 来显示当前最高级别的错误。四位指示灯最多可以表达由四种基本错误类型组成的 16 种错误类型。这样通过对四盏红色 LED 的监视,管理员可以迅速发现网络错误个数及其

错误级别。

3 系统测试

3.1 实验

搭建好系统平台后,对两个 DE2 开发板进行了网络配置,制造了正常 CCM、错误 CCM 以及交叉 CCM 三种报文。设计连续的六个实验(见表 3),分别完成对网络正常和异常配置的情况进行测试。开始(实验 1)时设备一和设备二配置有相同 MD Level 的 MD,并分别配置 CCM 报文的发送周期为 1s。设备一作为主设备(发送端),设备二作为从设备(接受端)。

表 3 测试实验

实验号	网络实体配置		实验结果	错误号
	设备一	设备二		
1	两设备配置相同,均使能 CFM 功能		无错误	0x00
2	去 CC 发送使能	同上不变	未收到 CCM	0x01
3	恢复 CC 发送使能	同上不变	RDI 标志清除	无
4	配置两设备 MD 不同,但 Level 相同		收到错误 CCM	0x04
5	配置两设备 MD 相同,但 Level 不同		收到交叉 CCM	0x08
6	不配置其 RMEP	正常配置	收到错误 CCM	0x02

3.2 性能分析

由上面的实验结果可以看出,这次的设计比较理想地达到了预期的目标,相比较纯软件的网络检测系统,有以下几方面的改善:

(1) 真正实现了毫秒级发包。

(2) 分级告警使得网络异常的定位更加准确。

(3) Nios6.0 的新特性 C2H 增加了软件的并行速度,将丢包率大大减小。

4 总结

依照 IEEE 802.1ag 协议的要求,实现了一个嵌入式网络连通检测器。该设备经过改进可以方便地嵌入到现有的网络体系中,方便网络管理员对网络的监控,有效地降低网络维护成本。

目前,IEEE 802.1ag 仍处于草案阶段,在协议中没有指定告警方式,虽说可以灵活处理,但是不方便管理员了解,不同厂家的告警方式各自不一,因此建议应该在保持灵活性的前提下,统一基本的告警方式。同时,为了方便新旧协议的更替,利用 FPGA 的可重用及可配置的特性完成嵌入式网络连通检测器的更新还需要进行深入研究。

参考文献:

- [1] Draft Recommendation. Y 17ethoam - OAM Functions and Mechanisms for Ethernet based Networks[S]. ITU, 2005.
- [2] 李 昕,韩 林,陈山枝.以太网的 OAM 机制[J].电信科

(下转第 246 页)

