

一种新的以太网地址动态配置方法^{*})

李 鹏 姜鲲鹏 兰巨龙

(国家数字交换系统工程技术研究中心 郑州 450002)

摘 要 分布式结构被广泛应用于核心路由器等大型系统中,以太网是分布式系统中各个子系统之间信息传递的良好平台。本文结合工程实践,提出了分布式系统内部以太网中 MAC 地址和 IP 地址一种新的动态配置方法。通过实践表明,该方法具有配置灵活、节约资源和易于大规模生产等特点。

关键词 分布式系统,嵌入式结构,媒体访问控制(MAC),只读存储器(ROM),闪存(FLASH)

A New Dynamic Configuration Method of Address in Ethernet

LI Peng JIANG Kun-Peng LAN Ju-Long

(National Digital Switching System Engineering and Technology Research Center, Zhengzhou 450002)

Abstract The distributed structure is widely used in large systems such as Core Routers, and Ethernet is a good means to transfer information among subsystems in the distributed structure. This paper brings forward a new method of dynamic configuration of MAC address and IP address in inner Ethernet of the distributed systems. Through this method, address can be configured flexibly, resources will be used efficiently and production scale is easy to enlarge.

Keywords Distributed system, Embedded structure, Media access control(MAC), Read only memory(ROM), Electrically erasable programmable ROM (FLASH)

1 引言

以太网以其简单灵活、成熟稳定的特性成为许多分布式系统^[1]内部通信的首选方式。在这些系统内部采用的以太网结构中,如何合理利用与配置地址信息(包括 MAC 地址和 IP 地址),成为提高系统可用性与灵活性的关键。

在 OSI 7 层网络协议参考模型中,第二层为数据链路层。MAC 地址位于此层,它由网络设备制造商生产时写在硬件内部。MAC 地址一般采用 6 字节 48 位,前 24 位是生产网络设备的厂商向 IEEE 申请的厂商地址,后 24 位由厂商自行分配。这样的分配使得世界上任意一个拥有 48 位 MAC 地址的网络设备都有唯一的标识^[2]。

在 TCP/IP 网络中,每个主机都有唯一的地址。IP 协议要求在每次与 TCP/IP 网络建立连接时,每台主机都必须为这个连接分配一个唯一地址(IPV4 为 32bit,IPV6 为 128bit)。这个分配给各主机的地址就称为 IP 地址,它分为互连网上的公共 IP 地址和局域网上的内部 IP 地址两种^[3]。

分布式系统的内部结构对用户是完全透明的,其内部一般采用嵌入式结构。嵌入式结构中的地址信息一般都是固化在只读存储器 ROM 中,当系统启动时自动加载这些信息。这种地址配置模式比较通用,适合一般的分布式系统。但对于某些复杂的分布式系统这种模式可能带来一些问题,如增加生产成本、生产周期较长、调试过程复杂、工作效率低以及地址资源利用率低等。结合实际项目,本文提出分布式系统内部以太网中 MAC 地址和 IP 地址的动态配置方法,该方法从根本上解决了传统配置方法所带来的问题。

2 MAC 地址和 IP 地址的动态配置方法

2.1 项目背景

国家数字交换系统工程技术研究中心(NDSC)承担了国家 863 项目高性能 IPv6 核心路由器的研发工作。该核心路由器采用分布式系统结构,由线卡、转发、交换、主控等模块组成。其中线卡、转发、交换模块统称为单板模块。这些单板模块利用自己的嵌入式处理机板的以太网网口单元通过以太网和主控模块相连。各处理机板为 VxWorks 嵌入式实时操作系统^[4],可单独处理各单板模块的实时任务。主控模块为 LINUX 操作系统,有良好的人机对话窗口,可通过以太网和各单板模块取得联系。其结构见图 1。

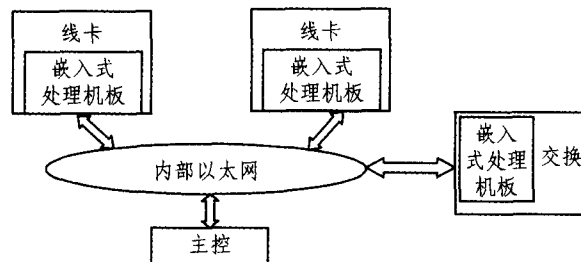


图 1 核心路由器分布式系统结构图

由于分布式系统中的各单板模块需要通过内部以太网和主控模块进行通信,因此必须给各单板模块上的嵌入式处理机板的网口单元分配相应的 MAC 地址和 IP 地址。这些地址信息一般固化在 ROM 当中,系统启动时自动读取。

这里需要指出的是,下面讨论的 MAC 地址和 IP 地址配

^{*})国家 863 计划资助项目(2003AA103510)。李 鹏 硕士生,主要从事路由与交换技术的研究;姜鲲鹏 讲师,主要从事嵌入式处理机的研究;兰巨龙 博导,教授,主要从事高速宽带信息网络技术的研究。

置与传统意义上的地址分配出发点是不同的。传统意义上的 IP 地址分配是指通过 DHCP 协议(动态主机配置协议)将与互连网相连的计算机(可以是服务器与互连网相连的局域网中的计算机)分配一个互连网上的公共 IP 地址,使之在互连网上能唯一地标识自己。这里讨论的分布式系统结构中的内部以太网和外部网络是相隔离的,不需要将互连网上的公共 IP 地址分配给各单板模块上的嵌入式处理机板的网口单元。各网口单元只需要在局域网内部唯一地标识自己,只对应一个局域网内部 IP 地址。而 MAC 地址对于每个网络设备都是唯一的。我们下面讨论的配置方式是指如何将局域网内部 IP 地址和 MAC 地址配置给每个网口单元。

2.2 传统静态配置方法

根据项目设计,首先我们要申请若干 MAC 地址,同时选定一些局域网内部 IP 地址(由于是内部以太网,和外界是隔离的,IP 地址也可任意选定)。然后将这些 MAC 地址和 IP 地址的信息固化在 ROM 中,由生产厂家生产这些 ROM。ROM 出厂后,将它们焊接在各嵌入式处理机板上进行调试。这种方法有以下缺点:

①根据 MAC 地址和 IP 地址的定义,每个处理机板上的以太网网口单元的 MAC 地址和 IP 地址是不一样的。我们不能把相同的地址信息固化在不同的 ROM 当中,因此每个 ROM 的信息不同,只能单独制作,不能进行批量生产。这样一来,就增加了成本而且生产周期较长。

②由于制作好的各嵌入式处理机板的网口单元的 MAC 地址和 IP 地址不同,调试各嵌入式处理机板时要区别对待。我们要根据不同地址分别设置不同的配置信息,这样调试过程复杂、工作效率低。

③在工程的具体应用中,为防止设备损坏,备用设备是必不可少的,因此我们生产的嵌入式处理机板个数要多于实际需要的数量。因为处理机板上的网口单元个数要和处理机板个数相一致,所以我们需要申请的 MAC 地址数量也要和处理机板的生产数量相一致,要多于正常工作所需要的数量。如果工作中的处理机板都能工作正常,不需要使用备用处理机板,那样分配给备用处理机板上的 MAC 地址资源就得不到应用。当工作中的处理机板出现问题,需要使用备用板时,有问题的处理机板的 MAC 地址一样不能得到应用。综上所述可以看出,多于工作所需数量的 MAC 地址必定得不到应用而被浪费。

针对以上问题,我们对核心路由器项目分布式系统中的嵌入式处理机板的网口地址信息采用了动态配置方法。

2.3 动态配置方法

FLASH 由于其可擦写性和非易失性在当今的嵌入式系统中到了广泛的应用。由于 ROM 出厂时内容已写定,不能更改,因此复杂的嵌入式系统一般利用 FLASH 的可擦写性进行系统的配置。由于单板模块的复杂性,我们需要调整嵌入式处理机板的配置信息来保证其正常工作。因此,可以充分利用 FLASH 的作用,将其和 ROM 的配置有效地结合起来。在分布式路由器中采取以下 MAC 地址和 IP 地址的动态配置方法:

①首先按照正常工作所需量申请 MAC 地址(与静态配置相比,没有备用的 MAC 地址),这样资源可以得到有效利用。

②然后设置嵌入式处理机板。嵌入式系统访问 MAC 地址和 IP 地址信息的顺序为:系统启动,读取 ROM 信息。当

读到网口地址信息时,转到 FLASH 中相关地址访问。如果存在相关信息,则读取;如果 FLASH 中没有相关信息,则读取 ROM 中的地址信息。其过程见图 2。

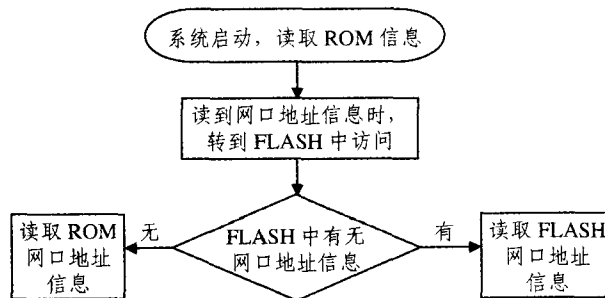


图 2 网口地址信息的动态访问流程

③下一步从申请到的 MAC 地址中任选一个,并同时选一个局域网 IP 地址。将这些硬件信息和嵌入式系统访问 MAC 地址和 IP 地址顺序的信息统一编程,固化到各个 ROM 当中,并成批量生产这些 ROM。这样我们可以有效地降低成本,缩短生产周期。

④接着将这些 ROM 分别焊接到各嵌入式处理机板上,并把处理机板上 FLASH 中的相关 MAC 地址和 IP 地址信息置零,这样,处理机板就读取 ROM 中的地址信息进行配置。因为各个 ROM 中的 MAC 地址和 IP 地址信息相同,因此各处理机板的调试过程相同。这样,步骤一致,简单易行。

⑤处理机板调试完毕后,把申请到的 MAC 地址分配给各个单板模块不同的处理机板的网口。同时选一些局域网 IP 地址,保证它们在以太网内部是唯一的。然后通过调试工具(LINUX 下用 MINICOM, WINDOWS 下用远程终端)将已分配好的 MAC 地址和 IP 地址等硬件信息分别写到工作中的各处理机板上的 FLASH 中。通过以上分配方式,所有工作的处理机板都将自己 FLASH 中的地址作为唯一的 MAC 地址和 IP 地址了。嵌入式系统启动时,就读到了分配给各自的地址信息。接下来就可以进行处理机板和各单板模块的综合调试了。

⑥当工作中的处理机板出现问题,需要使用备用处理机板时,可以将出现问题的处理机板上 FLASH 中的 MAC 地址和 IP 地址重新分配给备用的处理机板。这样,就有效地利用了所申请的 MAC 地址资源。

3 动态配置方法的具体实现

我们选择 VxWorks 为处理机板的嵌入式实时操作系统, Tornado 为集成的开发环境。

3.1 MAC 地址配置方法的实现

首先在 BSP 的 sysLib.c 中设置 ROM 中的以太网默认 MAC 地址。

```

/* set the following array to a unique Ethernet hardware
address */
unsigned char sysFecEnetAddr [6] = {0x08, 0x00,
0x3e, 0x03, 0x03, 0x05};
  
```

然后修改 sysLib.c 中 sysFecEnetAddrGet() 函数,用来判断 FLASH 中是否有 MAC 地址。如果有,则用 FLASH 的地址;如果没有,则用 ROM 中的地址。

(下转第 39 页)

试,在测试的过程中发现的与协议标准不一致的地方包括:消息格式一致性测试中对 ORIGIN 字段、AS-PATH 字段和 LOCAL-PREF 字段的处理;BGP4+消息处理功能测试中对 MP REACH_NLRI 属性中的 NEXT-HOP 字段的处理;路由处理功能测试中对下一跳不可达路由的处理、根据 BGP4+标识符或测试端口地址打破平局进行路由选择的处理以及对路由聚合的处理;路由反射功能测试中对不正确路由的忽略处理;路由流量控制功能测试中对根据 BGP4+标识符或测试端口地址打破平局进行路由流量控制的处理;BGP4+差错处理功能测试中对 UPDATE 消息头中的 Length 字段不正确情况的处理和对 AS 路由循环的处理。

结论 随着下一代互联网技术的部署,下一代路由协议将占据越来越重要的位置。其中广域网的域间路由协议大多数使用 BGP 协议转发路由信息,且 BGP 协议主要位于域间的路由器上。而 BGP4+路由协议作为下一代互联网中最基本和最重要的域间路由协议,对其协议实现的一致性进行测试具有重要的现实意义。本文首先对边界网关协议进行了分析,然后针对 BGP4+互连行为部分进行形式化建模,在形式化模型的基

础上自动生成测试例,并给出了测试例列表。对于无法形式化的内容,则采用手工设计测试数据的方式与参考实现相互配合开展测试。在运用这些测试例对 BGP4+协议实现,如 Zebra 进行测试的过程中,发现了与协议标准不一致的地方。在后续的工作中,将对于测试目的自动生成进行研究,同时针对测试中发现的不一致的地方对被测实现进行分析。

参考文献

- 1 RFC 1771. A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4), March 1995
- 2 RFC 2858. Multiprotocol Extensions for BGP 4, June 2000
- 3 赵邑新,韩博,等. 路由协议测试研究. 计算机工程, 2000, 10(增刊): 769~774
- 4 赵邑新,吴建平,韩博. 路由协议测试研究——边界网关路由协议 BGP-4 测试. 通信学报, 2001, 22(9): 91~98
- 5 赵邑新,吴建平,韩博. 基于协议集成测试系统 BGP-4 协议测试. 计算机工程, 2001, 27(8): 12~14
- 6 Henniger O, Lu M, Ural H. Automatic Generation of Test Purposes for Testing Distributed Systems. FATES, 2003, 178~191
- 7 RFC 2842. Capabilities Advertisement With BGP-4, May 2000
- 8 ISO/IEC 9646-2. Information Processing Systems. Open System Interconnection, OSI Conformance Testing Methodology and Framework, Part 2: Abstract test suite specification, 1991
- 9 Sidhu D P, Leung T. Formal methods for protocol testing: A detailed study. IEEE Transactions on Software Engineering, 1989, 15(4): 413~426

(上接第 35 页)

```
STATUS sysFecEneAddrGet ( UINT32 motCpmAddr, UCHAR *
addr)
{
.....
/* 'mac-valid' offset in NVRAM is 0xF0. The value 0x5a5a
says the mac in NVRAM is valid. */
if (sysNvRamGet_Block((char *) &mac_valid, 2, 0xf0) =
= OK)
{
if (mac_valid == 0x5a5a)
{
if (sysNvRamGet_Block((char *) (my_mac), 6,
0xf2) == OK)
{
tmp_mac = my_mac;
}
}
else
{
tmp_mac = sysFecEneAddr;
}
}
.....
}
```

随后在文件 bootConfig.c 操作接口函数 bootCmdLoop() 中增加新命令“k”来执行修改 FLASH 中 MAC 地址的命令。

```
switch (* (pLine++)) {
.....
case 'k';
my_change_mac();
break;
.....
}
```

最后在 BSP 的 bootConfig.c 中加入函数 my_change_mac(), 用来改变 FLASH 中的 MAC 地址。

```
LOCAL void my_change_mac()
{
.....
if ( fioRdString ( STD_IN, input_string, MAX_INPUT )! =
EOF)
{
pInput = input_string;
tok = strtok_r (macaddr, "-", &holder);
addr[0] = strtol (tok, (char **)NULL, 16);
tok = strtok_r (NULL, "-", &holder);
addr[1] = strtol (tok, (char **)NULL, 16);
tok = strtok_r (NULL, "-", &holder);
.....
bcopy((char *)add, (char *) (my_mac), 6);
mac_valid = 0x5a5a;
sysNvRamSet_Block((char *) (my_mac), 6, 0xf2);
sysNvRamSet_Block((char *) &mac_valid, 2, 0xf0);
.....
}
```

3.2 IP 地址配置方法的实现

目标机的 IP 默认地址则通过 BSP 中的 config.h 文件进

行设置,其中 DEFAULT_BOOT_LINE 为 vxworks 下载

的默认路径, e 为目标机的默认 IP 地址。

```
#define DEFAULT_BOOT_LINE \
"motfec (0, 0) host; /target/config/105a/vxWorks e = 192.
168. 123. 1; ffff0000 h=192. 168. 200. 142 u=target pw=vx-
works"
```

当 FLASH 中 BOOT_LINE_ADRS 没有设置时, bootConfig.c 中 usrBootLineInit() 函数将 DEFAULT_BOOT_LINE 拷贝到 BOOT_LINE_ADRS。此时就采用默认的 IP 地址。

当需要改变下载的 IP 地址时,通过文件 bootConfig.c 操作接口函数 bootCmdLoop() 中命令“c”执行。

```
case 'c': /* change boot params */
bootParamsPrompt (BOOT_LINE_ADRS);
(void)sysNvRamSet_Block (BOOT_LINE_ADRS,
strlen (BOOT_LINE_ADRS) + 1, 0);
break;
```

结束语 通过以上 MAC 地址和 IP 地址的动态配置方法,可以有效地克服静态配置方法中存在的各种问题。相对于静态配置方法,动态配置方法结合了 FLASH 和 ROM 的灵活应用,有以下优点:

- ①能成批量生产内容一致的 ROM,降低了系统成本,缩短了生产周期。
- ②各个处理机板的调试步骤一致,简单易行。
- ③所申请的 MAC 地址得到有效利用,节省了地址资源。

随着分布式系统的应用日益广泛和设计的日益复杂,动态配置方法所提供的低生产成本、短生产周期和高地址资源利用率以及简单易行的调试方法等优点将日益凸显,因而具有良好的应用前景。

参考文献

- 1 Tanenbaum A S, van Steen M. Distributed Systems - Principle and Paradigms. Tsinghua University Press, 2002
- 2 Comer D E. Internetworking With TCP/IP. Prentice-Hall Inc, 2000
- 3 刘兵,刘欣. Internet 技术与应用教程. 北京:中国水利水电出版社, 2003
- 4 孔祥营,柏桂枝. 嵌入式实时操作系统 VXWORKS 及其开发环境 TORNADO. 北京:中国电力出版社, 2001