

一种高效的计算带宽请求微时隙的算法

王 沁 戴 鹏 张晓彤 李占才

(北京科技大学计算机科学与技术系 北京 100083)

摘 要 首先提出了一种基于 HFC 网络和 DOCSIS 规范精确计算带宽请求微时隙的算法,该算法根据用户数据长度、MAC 管理报文的大小计算出不同 RF(射频)条件下发送上行数据所需要的最少微时隙数,有效提高了网络带宽利用率.其次,在算法实现上提出了一种优化的快速实现方法,引入 Hash 算法,构造了一个 Hash 函数,大大降低了算法的运算时间,可满足实时系统的要求.该算法已成功应用于由自主开发的物理层和 MAC 层芯片组成的 HDTV(高清晰度电视)双向系统平台.实际网络环境下的测试结果表明该算法及其实现完全满足 HDTV 双向点播、VoIP、Internet 网络通信等应用需求,在实际应用中表现出了良好的性能和可靠性.

关键词 HFC 网络;DOCSIS;微时隙;算法;实时
中图法分类号 TP393

A High Performance Algorithm for Computing Bandwidth Requested Mini-Slots

WANG Qin DAI Peng ZHANG Xiao-Tong LI Zhan-Cai

(Department of Computer Science and Technology, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083)

Abstract Firstly, this paper proposes an algorithm which can calculate accurately the total amount of mini-slots requested in the bandwidth request frame, based on HFC networks and DOCSIS specifications. According to the size of user data packet or MAC management message, the algorithm calculates the least amount of mini-slots needed by CM to transmit upstream frame in the case of different RF (Radio Frequency) parameters, thereby efficiently increasing the network bandwidth utilization ratio. Secondly, this paper also describes an optimized and high speed implementation for the algorithm. A Hash function is introduced, which results in the great reduction of the program runtime, and thus, the implementation method meets the demands of real-time systems. The algorithm has been successfully applied to the bidirectional system platform for HDTV(High Definition Television), which consists of PHY chip and MAC chip developed in authors lab. The algorithm meets the demands of applications, including bidirectional VOD of HDTV, VoIP, and Internet data service etc. The tests in real network conditions show that the system provides a good performance and reliability.

Keywords HFC networks; DOCSIS; mini-slot; algorithm; real-time

1 引 言

xDSL 和 HFC(Hybrid Fiber-Coax)是目前我

国和国际上使用最广泛的两种宽带接入方式,其中以 HFC 带宽最大. HFC 是目前美国应用最广的一种宽带接入方式,而中国建有世界最大的有线电视网络,随着数字电视技术在全世界的兴起和单向传

收稿日期:2005-03-31;修改稿收到日期:2005-11-24. 本课题得到北京市科技重大项目“交互式数字电视信道传输核心技术开发”京科技发展([2002]188号)资助. 王 沁,女,1961年生,博士,教授,博士生导师,主要研究领域为计算机系统结构、网络与通信、SOC 和 IC 设计. 戴 鹏,女,1981年生,硕士研究生,主要研究方向为计算机系统结构、计算机网络和嵌入式系统软件. E-mail: kathy_dp@163.com. 张晓彤,男,1968年生,博士,副教授,主要研究方向为网络与通信、嵌入式系统、IC 设计、信号处理. 李占才,男,1962年生,博士,副教授,主要研究方向为 IC 设计、网络与通信、信息安全.

输的模拟电视向交互式数字电视的转变,基于 HFC 网络的、具有双向通信功能的网络芯片和交互式机顶盒已成为交互式数字电视和其它数字综合业务的核心技术和关键设备之一。

实现符合 DOCSIS (Data-Over-Cable Service Interface Specifications) 规范的网络芯片和交互式机顶盒的关键技术之一是 MAC(媒体访问控制)层数据传输,而确保 MAC 层数据正确传输的关键因素之一是计算带宽请求微时隙的算法。一种快速有效的算法将有助于提高网络传输质量,降低请求接入延时^[1],增大网络吞吐量。DOCSIS 规范虽然描述了双向 HFC 网络的 MAC 层和物理层,但对于计算带宽请求微时隙的算法没有定义^[2]。

本文首先提出了一种基于 DOCSIS 规范的计算带宽请求微时隙的算法。即通过将上行数据包分段填充后,加上物理开销和 FEC(前向纠错码)开销,求出发送帧在信道上实际占用的总字节数;然后,根据波特率、微时隙大小和调制类型等参数计算出每个微时隙能够承载的字节数^[3,4],从而计算出带宽请求微时隙数量。其次,由于该算法涉及较多的乘法和除法运算,若直接实现,则当用于对网络传输质量和效率都要求较高的嵌入式网络通信系统时,会降低整个系统的通信效率。因而,本文提出了一种优化的实现方法,构造了一个 Hash 函数,设计了一种平均查找长度为 1 的 Hash 表,使算法效率平均提高 75%以上。

本文第 2 节简要介绍 HFC 网络的逻辑拓扑结构和 DOCSIS 规范上行信道传输机制;第 3 节详细描述本文提出的计算带宽请求微时隙的算法;第 4 节针对该算法提出一种优化实现;第 5 节是测试和性能分析。

2 DOCSIS 上行信道传输机制分析

2.1 HFC 网络拓扑结构

双向 HFC 网络是一种树型分支结构的网络,图 1 所示为 HFC 网的逻辑拓扑结构,主要分为三部分:HFC 传输媒质、多个电缆调制解调器(CM)和一个电缆调制解调终端系统(CMTS)。CMTS 是 HFC 网络的中央控制机构^[5]。双向 HFC 网络的一个主要特点是上、下行信道相互独立。在下行方向,CMTS 是唯一的发送端,可以采用连续广播的方式发送下行数据。每个 CM 分配一个专用的地址,各站点通过地址选择接收发给本站的数据。在上行方向,数据包从不同的 CM 通过同一段媒体发送给

CMTS。每个上行信道由多个 CM 共享,上行信道的这种共享特性使之需要媒体访问控制以顺序发送。由于 HFC 网络的上、下行信道分处于不同的频段,各 CM 在发送的同时无法直接监听到同网段内其它 CM 发出的信号,因而不能像以太网那样采用载波监听多路访问/冲突检测(CSMA/CD)的信道分配协议^[6~8]。

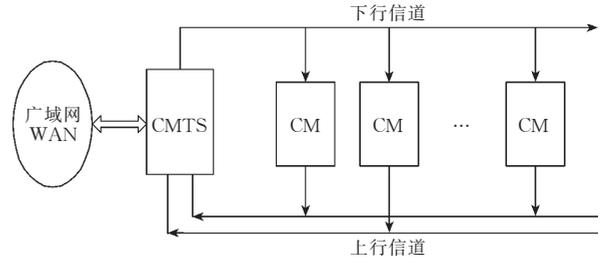


图 1 HFC 网的逻辑拓扑结构

2.2 DOCSIS 上行信道传输机制

为了解决上行信道的占用和分配问题,DOCSIS 规范提出了 MAC 协议,其基本思想是:将上行信道模型化为一连串的微时隙(mini-slot)流,每个微时隙作为一个基本传输单元。这些微时隙按照传输方式分为两类:竞争传输和预留传输。用于竞争传输的微时隙称为竞争微时隙,它为所有 CM 提供上行传输机会,因而易发生冲突。用于预留传输的微时隙称为预留微时隙,它专门为某一特定的 CM 提供上行传输机会。用预留方式传输的数据不会发生冲突。

CMTS 通过定义微时隙控制 CM 对上行信道的使用。典型的上行信道传输机制是竞争/预留机制。CMTS 周期性地在下行信道发布一些竞争微时隙。在竞争微时隙期间,允许 CM 发出带宽请求,向 CMTS 申请一些预留微时隙。当没有冲突发生时,CMTS 收到该请求,然后根据信道的使用情况做出响应,并按照带宽请求中申请的微时隙数量要求将预留微时隙分配给 CM。信道的分配信息将通过下行信道发布。CM 接收到信道分配信息后,即可在指定的预留微时隙内发送上行数据^[9]。

CM 进行带宽请求的实体是带宽请求帧(bandwidth request frame),其格式如图 2 所示(具体定义见文献^[2])。带宽请求 REQ 以微时隙为单位,必须标明带宽请求的微时隙总量。

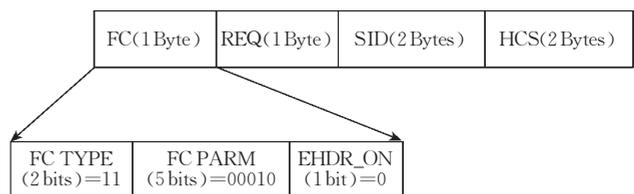


图 2 请求帧格式

3 计算带宽请求微时隙的算法

设计计算带宽请求微时隙的算法之目的在于：

(1)使 CMTS 的 MAC 层知道需要分配多少预留微时隙以保证 CM 能够将一个完整的 MAC 帧成功发送到 CMTS.

(2)使 CMTS 的物理层知道 MAC 帧的 FEC 情况.

出于上述目的,带宽请求微时隙数量的计算必须考虑到 3 个因素:数据包长度、物理开销、FEC 开销.其中数据包长度为 MAC 标头长度与数据包 PDU 长度之和.物理开销是进行物理层通信所必须计算的开销,为 MAC 子层指明了 MAC 帧的开始

之处.从 MAC 子层的角度来看,它仅需知道开销总量.物理开销主要涉及以下参数:前同步码、保护时间、FEC 开销是 MAC 子层需要计算的开销,所有 MAC 帧都包含 FEC 开销,并对 MAC 数据流是透明的.FEC 开销涉及的参数有:FEC 校验(T)、FEC 码字信息字节数(K).与物理开销和 FEC 开销相关的参数从周期性获得的上行通道描述符(UCD)中获得.UCD 中的参数在整个通信过程中会随信道状态经常调整.

图 3 示意了两个帧结构的例子:一个是在一个码字内数据包长度与信息字节的数量相同,另一个是在一个码字内数据包长度比信息字节数长,但是比两个码字的信息字节数短.(a)示意的是固定的码字长度方式,(b)示意了截短的最后码字方式.

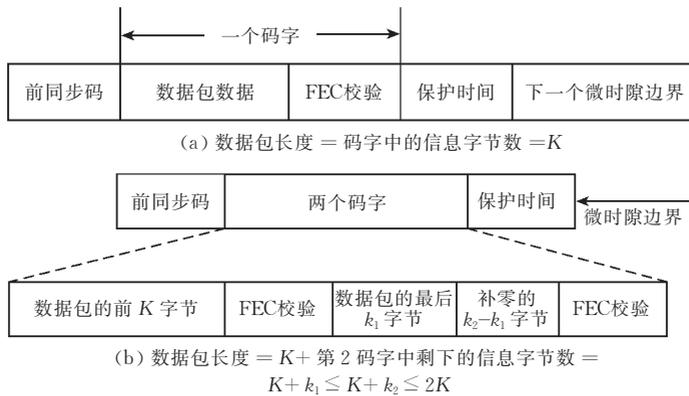


图 3 帧结构举例及其灵活的突发长度方式

当 FEC 被启动时($T \neq 0$),CM 要么工作在固定码字长度状态,要么工作在截短最后码字状态.CM 的工作状态以及在这个工作状态下的参数从下行 UCD 帧中获得.在一个码字中信息字节的最小数量在两种状态都是 16.截短最后码字状态只有一个用处,即当一个码字的信息字节数多于最小的 16 时使用.

无论 CM 工作在固定码字长度状态还是截短最后码字状态,必须遵循一个原则:若数据包长度(单位为 Byte)小于 FEC 码字信息字节的整数倍时,补零字节.

设上行发送帧在信道上实际占用的总字节数为 N_b ,上行信道每个微时隙可承载 p 个字节,则需要在带宽请求帧中申请的微时隙数量 N_s 为

$$N_s = \left\lceil \frac{N_b}{p} \right\rceil \quad (1)$$

将数据包长度按 K 值分段,假设分为 s 段,则上行发送帧在信道上实际占用的总字节数 N_b 可通过以下公式算出:

$$N_b = n_p + \sum_{i=1}^s (k_i + 2T_{\text{FEC}}) + n_g \quad (2)$$

其中 n_p 为前同步码长度,单位为字节; n_g 为保护时间大小,单位为字节; T_{FEC} 为 FEC 校验; k_i 为数据包的第 i 段长度,单位为字节.在最后一段未补零字节时, $k_s \leq K$; 补零之后, $k_s = K$,因而式(2)可简化为

$$N_b = n_p + (K + 2T_{\text{FEC}}) \times \left\lceil \frac{N_{\text{MAC}}}{K} \right\rceil + n_g \quad (3)$$

其中 N_{MAC} 为上行数据包的长度,包括 MAC 标头,单位为字节.

又设上行数据通信的波特率为 $V_{\text{sym}} \text{ksym/s}$,从 UCD 帧中获得的微时隙大小为 $p_s \mu\text{s}/\text{mini-slot}$,一个字节允许传输 p_b 个符号. p_b 值相关于调制方式,DOCSIS 规范定义上行信道采用两种调制方式,分别是:① QPSK 调制, $p_b = 4$; ② 16QAM 调制, $p_b = 2$,则上行信道一个微时隙承载的字节数 p 通过以下公式计算:

$$p = \frac{V_{\text{sym}} \times p_s}{p_b} \quad (4)$$

由以上公式可以得出结论:

(1)式(4)使用了一次乘法运算和一次除法运算.在 ARM7 中,乘法指令的执行时间大于加法和减法指令.在 DOCSIS 网络中,每产生一个上行数据

包就要计算一次申请的带宽微时隙数,因而,频繁地使用乘法运算会降低程序的运行效率。

(2) 当 $V_{\text{sym}} = 160 \text{ ksym/s}$, $p_s = 12.5 \mu\text{s}/\text{mini-slot}$, $p_b = 4$ 时,通过式(4)计算出 $p = 0.5$,需将 p 设为 float 类型,因而式(1)成为浮点除法(32 位除法)运算。ARM7 指令集中没有除法指令,其除法是通过调用 C 库函数实现的。一个 32 位的除法通常需要 20~140 个时钟周期。因此,除法成为程序效率的瓶颈,应尽量避免使用。

4 算法实现优化

为了避免因过多使用乘法和除法运算而引起程序效率瓶颈,这里对算法的实现进行优化,使用查找表法代替式(4)中的乘除运算,并且避免式(1)中出现的浮点除法运算。

定义波特率和微时隙大小的序偶作为关键字 (V_{sym}, p_s) ,从 UCD 中直接获得的波特率和微时隙大小的集合分别为 $V = \{1, 2, 4, 8, 16\}$, $P_s = \{2, 4, 8, 16, 32, 64, 128\}$,则 V 和 P_s 的笛卡儿乘积大小 $|V \times P_s| = 35$ 。式(4)的函数表达式为 $f(V_{\text{sym}}, p_s) =$

$\frac{V_{\text{sym}} \times p_s}{p_b}$,在 QPSK 和 16QAM 两种调制方式下分别计算 f 值得到如下集合:

$$f_{\text{QPSK}}(V \times P_s) = \{f(V_{\text{sym}}, p_s) | V_{\text{sym}} \in V, p_s \in P_s, p_b = 4\};$$

$$f_{16\text{QAM}}(V \times P_s) = \{f(V_{\text{sym}}, p_s) | V_{\text{sym}} \in V, p_s \in P_s, p_b = 2\}.$$

$V \times P_s$ 到 $f(V \times P_s)$ 的映射关系如表 1、表 2 所示。

在程序中实现对表 1 和表 2 的查找有多种方法,如顺序查找、折半查找、分块查找和树表查找等,其平均查找长度 ASL 的量级在 $O(n) \sim O(\log_2 n)$ 之间。从中看出,不论 ASL 在哪个量级,都与记录长度 n 有关。如果在查表过程中引入 Hash 算法,构造一种 Hash 表,通过原始输入直接定位查找结果,使其查找的时间复杂度为常数级 $O(1)$,将大大提高系统的程序执行效率。下面设计一种 Hash 表:

定义关键字为波特率 V_{sym} 和微时隙大小 p_s ,在记录的存储位置和它的关键字之间建立一个确定的对应关系,Hash 函数为

$$H(V_{\text{sym}}, p_s) = V_{\text{sym}} + p_s,$$

$$V_{\text{sym}} \in \{1, 2, 4, 8, 16\}, p_s \in \{2, 4, 8, 16, 32, 64, 128\}.$$

表 1 QPSK 调制方式下的映射关系

V_{sym}	$f(V_{\text{sym}}, p_s)$						
	$p_s = 2$	$p_s = 4$	$p_s = 8$	$p_s = 16$	$p_s = 32$	$p_s = 64$	$p_s = 128$
1	$0.5 = 2^{-1}$	$1 = 2^0$	$2 = 2^1$	$4 = 2^2$	$8 = 2^3$	$16 = 2^4$	$32 = 2^5$
2	$1 = 2^0$	$2 = 2^1$	$4 = 2^2$	$8 = 2^3$	$16 = 2^4$	$32 = 2^5$	$64 = 2^6$
4	$2 = 2^1$	$4 = 2^2$	$8 = 2^3$	$16 = 2^4$	$32 = 2^5$	$64 = 2^6$	$128 = 2^7$
8	$4 = 2^2$	$8 = 2^3$	$16 = 2^4$	$32 = 2^5$	$64 = 2^6$	$128 = 2^7$	$256 = 2^8$
16	$8 = 2^3$	$16 = 2^4$	$32 = 2^5$	$64 = 2^6$	$128 = 2^7$	$256 = 2^8$	$512 = 2^9$

表 2 16QAM 调制方式下的映射关系

V_{sym}	$f(V_{\text{sym}}, p_s)$						
	$p_s = 2$	$p_s = 4$	$p_s = 8$	$p_s = 16$	$p_s = 32$	$p_s = 64$	$p_s = 128$
1	$1 = 2^0$	$2 = 2^1$	$4 = 2^2$	$8 = 2^3$	$16 = 2^4$	$32 = 2^5$	$64 = 2^6$
2	$2 = 2^1$	$4 = 2^2$	$8 = 2^3$	$16 = 2^4$	$32 = 2^5$	$64 = 2^6$	$128 = 2^7$
4	$4 = 2^2$	$8 = 2^3$	$16 = 2^4$	$32 = 2^5$	$64 = 2^6$	$128 = 2^7$	$256 = 2^8$
8	$8 = 2^3$	$16 = 2^4$	$32 = 2^5$	$64 = 2^6$	$128 = 2^7$	$256 = 2^8$	$512 = 2^9$
16	$16 = 2^4$	$32 = 2^5$	$64 = 2^6$	$128 = 2^7$	$256 = 2^8$	$512 = 2^9$	$1024 = 2^{10}$

定义 Hash 表的长度为 145,由函数的定义域可得 $3 \leq H = V_{\text{sym}} + p_s \leq 144$,因而任何关键字所得的 Hash 函数值都落在表长范围之内。Hash 表中存储的记录为表 1 中 $m-1$ 值, m 与 f 的关系为 $2^m = f$ 。

设关键字映射到的地址集 A 与 $m-1$ 值集合 M 的对应关系如表 3 所示。

查找该 Hash 表会出现冲突,如 $V_{\text{sym}} = 2, p_s = 8$ 和 $V_{\text{sym}} = 8, p_s = 2$ 两种情况下,Hash 函数值都为 10。通过观察表 1,以上两种情况的 f 值相等,即 m 相等。考虑是否会出现以下情况:不同关键字所得的 Hash 函数值 h 相等,但在表 1 中分别对应的 m

值不等。

表 3 Hash 表地址与记录的对应关系

Hash 表地址	记录 $m-1$	Hash 表地址	记录 $m-1$	Hash 表地址	记录 $m-1$
3	-2	18	2	66	4
4	-1	20	3	68	5
5	-1	24	4	72	6
6	0	32	5	80	7
8	1	33	2	129	4
9	0	34	3	130	5
10	1	36	4	132	6
12	2	40	5	136	7
16	3	48	6	144	8
17	1	65	3		

证明. 用反证法. 假设 $m_1 \neq m_2, h_1 = h_2$. 因为 $f = 2^m$, 所以 $f_1 \neq f_2$. 结合函数 $f = \frac{V_{\text{sym}} \times p_s}{p_b}$ 得 $V_{\text{sym}1} \times p_{s1} \neq V_{\text{sym}2} \times p_{s2}$. 又因为关键字可表示为 $V_{\text{sym}} = 2^n, p_s = 2^l, n \in \{0, 1, 2, 3, 4\}, l \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$, 所以推出 $n_1 + l_1 \neq n_2 + l_2$. 由假设知 $h_1 = h_2$, 所以 $2^{n_1} + 2^{l_1} = 2^{n_2} + 2^{l_2}$. 由指数性质知 $2^{n_1} \neq 0$, 等号两端同除 2^{n_1} 得 $2^{n_2-n_1} + 2^{l_2-n_1} - 2^{l_1-n_1} = 1$, 可推出 $n_2 - n_1, l_2 - n_1, l_1 - n_1$ 中至少有一个为 0. 存在 3 种情况:

- (1) $n_2 - n_1 = 0$, 则 $l_1 = l_2$, 所以 $n_1 + l_1 = n_2 + l_2$.
- (2) $l_2 - n_1 = 0$, 则 $n_2 = l_1$, 所以 $n_1 + l_1 = n_2 + l_2$.
- (3) $l_1 - n_1 = 0$, 则 $n_1 = n_2 = l_1 = l_2$, 所以 $n_1 + l_1 = n_2 + l_2$.

以上 3 种结果均与 $n_1 + l_1 \neq n_2 + l_2$ 相违. 证毕. 通过以上证明可以得出结论: 若不同关键字所

得的 Hash 函数值相等, 则在表 1 中分别对应的 m 值必相等. 因而, 该 Hash 表无需冲突处理, 其平均查找长度 $ASL = 1$.

通过查找 Hash 表实现公式(4)避免了影响程序效率的乘除运算, 同时公式(1)中的浮点除法可由移位操作代替, 所移的位数为 Hash 表查找值与从 UCD 中直接获得的调制类型相加所得的值.

5 测试与性能分析

我们采用 ANSI C 语言来实现计算带宽请求微时隙的算法. 程序运行于由 ARM7 芯片和自行设计的物理层通信 ASIC 芯片以及协议处理器 FPGA 组成的 HDTV 双向系统上, 通过 ADS1.2 集成环境进行测试. 图 4 为交互式 CM 的内部构造.

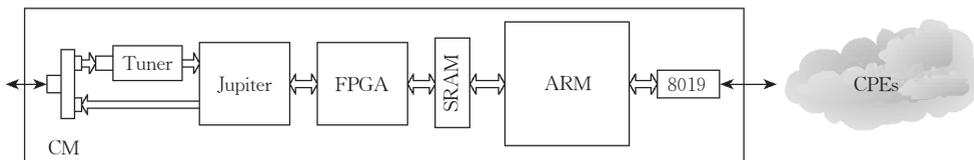


图 4 交互式 CM 的内部构造

ARM 上运行 DOCSIS MAC 层数据传输协议和嵌入式 TCP/IP 协议栈, 8019 芯片是嵌入式透明桥接子模块中 CPE(CM 终端设备)与 CM 交互的接口, 上行 MAC 帧经由双端口 SRAM 缓存, 由 FPGA 经由 Jupiter 发出. 其中, Jupiter 芯片是一款 HDTV/CATV 双向信道的物理层调制解调芯片, 下行支持 DVB-C 标准, 上行支持 DOCSIS 规范.

测试 1. 算法正确性测试.

借助与 CM 相连的 CPE 上的 Ping 程序产生上

行用户数据来检验本算法计算微时隙的正确性. 图 5 为测试环境, 运行网络的 Ping 程序测试, 测试结果和参数如表 4 所示, 其中, 应答时间与网络设置和当前网络状态相关.

表 4 Ping 测试统计数据

	平均应答时间(ms)	丢包率(%)
Ping192.168.10.2	12	0
Ping192.168.10.13	15	0
Ping192.168.10.179	14	0
其它参数	Ping 次数=100	

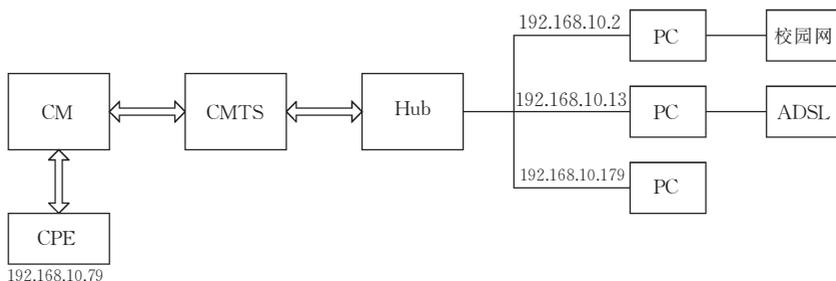


图 5 Ping 测试环境

测试 2. 算法实现的性能测试.

利用 ADS1.2 集成环境中自带的 ARMulator 模拟调试器对本文所述算法的两种实现方法运行时间进行统计, 优化前采用乘除运算, 优化后采用 Hash 查找表, 比较关键路径上的执行时间. 测试结

果和参数如表 5 所示.

比较两种实现方法的程序执行时间, 使用 1-ASL 的 Hash 查找表将算法效率平均提高了 76%. 可见, 本文所提出的算法及其实现方法对于提高带宽请求微时隙的计算性能有显著的效果.

表 5 时间统计数据

	优化前执行时间(μs)	优化后执行时间(μs)	提高的效率(%)	其它参数
路径 1	6.24	1.50	75.96	处理器类型: ARM7TDMI 内核时钟频率: 66MHz 与处理器连接的内存信息: 地址 0~4GB, 宽度 32bits
路径 2	6.21	1.48	76.17	
路径 3	6.21	1.53	75.36	
路径 4	6.21	1.47	76.33	
路径 5	6.24	1.50	75.96	
路径 6	6.24	1.48	76.28	

6 结 论

本文主要提出了一种高效、准确的计算带宽请求微时隙的算法. 在保证 MAC 层数据传输精确性的前提下, 采用本算法明显提高了网络传输质量, 降低了请求接入延时. 该研究结果通过了实际系统测试, 并成功应用于 HDTV 双向点播系统, 在 VOD、VoIP、Internet 网络通信等应用中表现出良好的性能和可靠性.

参 考 文 献

- 1 Lin Ying-Dar, Huang Chen-Yu, Yin Wei-Ming. Allocation and scheduling algorithms for IEEE 802.14 and MCNS in hybrid fiber coaxial networks. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 1998, 44(4): 427~435
- 2 Cable Television Laboratories, Inc.. Data-Over-Cable Service Interface Specifications——Radio Frequency Interface Specification. 2002
- 3 Sater G., Stambaugh K.. Media access control protocol based



WANG Qin, born in 1961, Ph. D., professor, Ph. D. supervisor. Her research interests include computer system architecture, computer network and communication, SOC and IC design.

DAI Peng, born in 1981, M. S. candidate. Her research interests include computer system architecture, computer

- network and embedded system software.
- 4 on DOCSIS 1.1. IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group, 1999
 - 4 Fellows D., Jones D.. DOCSIS cable modem technology. *IEEE Communications Magazine*, 2001, 39(3): 202~209
 - 5 Domdom R., Espey B., Goodman M., Jones K., Lim V., Patek S.. Transient analysis of DOCSIS 1.1 cable modem networks. In: *Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Mashville, TN, USA, 2000, (3): 2263~2268
 - 6 Carroll M. D.. Aligning the initial maintenance intervals of cable modem upstream channels. *IEEE Communications Magazine*, 2003, 41(9): 140~146
 - 7 Kuo Wen-Kuang, Kumar S., Jay Kuo C.-C.. Improved priority access, bandwidth allocation and traffic scheduling for DOCSIS cable networks. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 2003, 49(4): 371~382
 - 8 Liao WanJiun, Ju Hwei-Jiun. Adaptive slot allocation in DOCSIS-based CATV networks. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2004, 6(3): 479~488
 - 9 Siahhan M., Gunawan A. H.. Determination consideration for DOCSIS implementation. In: *Proceedings of the 2002 Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS'02)*, Singapore, 2002, 1: 431~434

network and embedded system software.

ZHANG Xiao-Tong, born in 1968, Ph. D., associate professor. His research interests include computer network and communication, embedded system, IC design, signal processing.

LI Zhan-Cai, born in 1962, Ph. D., associate professor. His research interests include IC design, computer network and communication, information security.

Background

This paper is one of the research results of the subject "Core Technology Development of Cable-based Interactive Digital Television Channel Transmission", which belongs to the project "Digital Television Transmission Technology Research" supported by Momentous Science and Technology Plan of Beijing. Authors' task is to design and implement a MAC protocol for the efficient transfer of data over HFC Systems based on the DOCSIS specifications. Now the research team has achieved a bidirectional system for HDTV, which meets the demands of the Cable-based Interactive Dig-

ital Television trials including interactive VOD, VoIP, Internet data service etc.

This paper firstly proposes an algorithm that calculates accurately the total amount of bandwidth requested mini-slots according to the size of user data packet and the RF parameters. Secondly, in view of the algorithm efficiency in network communication systems, this paper also proposes an optimized implementation to reduce greatly the program runtime by designing a Hash table structure with 1-ASL.