

基于优化缓存模型的 IPQAM 频点管理方法研究*

鞠照明^{1,2}, 王玲芳², 刘磊²

(1. 中国科学院大学, 北京 100049; 2. 中国科学院声学研究所 国家网络新媒体工程技术研究中心, 北京 100190)

摘要: 针对已有基于缓存策略的 IPQAM(边缘调制器)频点管理方法中响应速率有待进一步提高、响应时延较大等问题,提出了一种基于优化缓存模型的 IPQAM 频点管理方法。该优化缓存模型的设计充分考虑了 IPQAM 频点资源、频点端口资源,以及资源所在服务组之间的关联关系,模型中只加载资源的部分属性,以降低对系统内存的消耗。基于该优化缓存模型,设计并实现了一种 IPQAM 频点分配、回收方法,该方法充分利用该优化缓存模型的结构优势,能够快速完成目标资源的定位,具备较优的平均时间复杂度。仿真实验表明,与同类方法相比,该方法能够以更低的响应时延(0.02~0.04 ms)提供更高的响应速率(最高 16 000 次/s),在管理资源数量方面,具备很好的系统可伸缩性。

关键词: 缓存模型; 边缘调制器; 资源管理; 频点分配; 优化

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2014)01-0239-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2014.01.056

Research of IPQAM resource management method based on optimal cache model

JU Zhao-ming^{1,2}, WANG Ling-fang², LIU Lei²

(1. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 2. National Network New Media Engineering Research Center, Institute of Acoustics Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: In order to improve system response rate, and reduce the response time delay, this paper proposed an IPQAM frequency resource management method based on optimal cache model. The design of the optimal cache model fully considered the relationship between IPQAM, frequency, frequency's UDP ports, and service group. There were only parts of the resource attributes should be loaded in the cache model, and it reduced the consumption of the system memory. Based on the optimal cache model, this paper designed and implemented an allocation and recycling method of IPQAM frequency resource. This method could quickly complete locating the target resources and has the optimal average time complexity. Simulation experiments show that compared with the existing similar methods, this method can provide lower response time delay (0.02~0.04 ms), and much higher concurrent processing capability (16 000/s), in addition, this method brings system very good scalability characteristic in terms of managing resources quantity.

Key words: cache model; IPQAM; resource management; frequency allocation; optimize

0 引言

随着有线电视网双向化改造的逐步推进和下一代广播电视网战略的提出,以及互动电视业务的不断推广与业务运营规模的不断扩大,使得边缘设备 IPQAM 数量不断增加,因此,对互动电视业务系统中网络边缘 IPQAM 频点资源的管理与调度提出了更高的要求,如何高效、合理地管理 IPQAM 频点资源,是一个值得研究的问题。

如图 1 所示,在互动电视业务系统中,负责 IPQAM 资源管理与调度的系统或组件,通常被定义为边缘资源管理系统(edge resource manager,ERM)。ERM 系统的网络部署位置处于前端播出系统和 HFC 接入网之间,能否充分、合理、有效地使用 IPQAM 频点资源,边缘资源管理系统发挥着至关重要的作用。

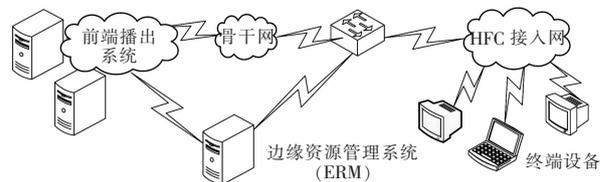


图 1 ERM 网络部署结构图

目前相关的研究多集中于 ERM 系统的相关设计与实现,以及 IPQAM 频点资源分配算法研究方面。文献[1~3]主要针对 ERM 系统的设计与实现进行论述,而在系统性能优化方面少有涉及;文献[4]提出了一种应用于 VOD 系统的 QAM 资源分配算法;文献[5]提出了一种改进的多拍卖带宽资源分配算法;此外,文献[6~13]针对一些特殊情况也提出了相应的算法;文献[6]提出了一种新的 QAM 资源分配算法 Non-mixing

收稿日期: 2013-03-26; **修回日期:** 2013-05-07 **基金项目:** 国家“863”计划资助项目(2011AA01A102);支撑计划课题(2011BAH19B04);中国科学院重点部署项目课题(KGZD-EW-103-1,KGZD-EW-103-2)

作者简介: 鞠照明(1987-),男,山东临沂人,硕士,主要研究方向为宽带网络通信(juzm@dsp.ac.cn);王玲芳(1969-),男,河北定州人,副研究员,硕士,主要研究方向为宽带网络通信、分布式计算;刘磊(1980-),男,湖北当阳人,副研究员,博士,主要研究方向为网络通信、网络新媒体技术。

法;文献[8]提出了一种结合最小负载分配法和最大负载分配法的算法 HD-threshold;文献[12]指出在资源分配中效率和公平性是需要考虑的两个关键因素并指出基于效用的资源分配可以兼顾资源分配的效率和公平性;文献[13]提出了一种新的基于效用函数的资源分配算法。然而,对于广电运营商来说,如何提供高效的系统响应速率,降低系统响应时延,为用户提供更好的交互体验是非常值得关注与深入研究的问题。

文献[14]是笔者的前期研究工作,该文献不仅针对 ERM 系统的设计与实现进行探讨,还提出了一种基于缓存策略的 IPQAM 频点管理方法,为 ERM 系统提供了较优的系统响应速率和响应时延。随着研究工作的不断深入,本文进一步总结文献[14]中值得完善之处,提出一种优化的缓存模型,基于该优化缓存模型,进一步优化 IPQAM 频点资源的分配与回收方法。最后通过仿真实验与文献[14]中的实验结果进行对比,验证了所提出方法的优越性。

1 已有缓存模型分析

1.1 模型描述

文献[14]中采用的缓存模型如图 2 所示,该缓存模型是以 hash map 数据结构为基础,对服务组、频点、端口等结构体进行封装。其中, key 值为服务组标志、频点标志,与其对应的 value 值分别为服务组结构体、频点结构体,频点结构体中包含端口列表及其他频点资源属性,所述结构体与数据库中实体相对应。

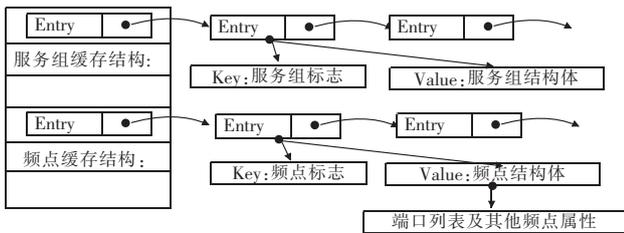


图 2 已有缓存模型结构图

1.2 模型不足之处

1.2.1 对系统内存消耗较大

已有缓存模型中每个 entry 的 value 值均为一个与数据库实体相对应的结构体,当中包含在资源分配、回收过程中诸多不会发生变化的资源属性字段,将结构体属性全部加载到系统内存中,会占用较多系统内存,造成内存资源的浪费。

1.2.2 资源分配过程中存在大量遍历操作

分配频点时,需根据服务组标志在频点缓存结构中遍历所有频点,进而得到该服务组标志对应的频点集合,再从该频点集合中获取剩余带宽最大的作为分配频点;继续分配频点端口时,需要遍历该分配频点对应的端口集合,从中获取可用端口,进而完成频点端口的分配。由此分析,随着管理的 IPQAM 频点资源数量的增加,分配过程中的遍历操作数量将迅速增加,必将降低系统的并发响应速率、增大响应时延。除此之外,也将导致系统在管理资源数据量方面的可伸缩性较差。

2 优化缓存模型分析

2.1 模型描述

为了进一步降低缓存模型对系统内存的消耗,降低算法的响应时延,提高算法响应速率,本文设计了一种优化的缓存模

型,如图 3 所示。

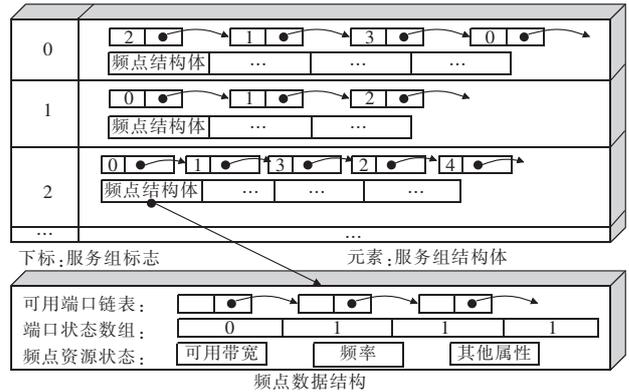


图 3 优化缓存模型结构

该缓存模型充分考虑了 IPQAM 频点资源、频点端口资源,以及资源所在服务组之间的关联关系,并紧密结合资源分配与回收的标准化流程^[15]。具体描述如下:

- a) 缓存模型由服务组数组构成,其中,服务组数组下标与服务组标志一一对应,服务组数组元素为服务组结构体。
- b) 服务组结构体包括该服务组内的频点所构成的频点数组,以及频点排序链表等信息,其中,频点数组的元素为频点结构体。
- c) 频点结构体包含端口状态数组、可用端口链表、可用带宽等信息,这些信息是一些随着频点分配、回收发生变化的属性,或者是频点分配、回收响应消息中所必需包含的资源信息。

2.2 模型优势分析

2.2.1 系统内存消耗较小

该优化缓存模型能够最大限度地降低对系统内存的消耗,模型中只加载随着资源分配、回收过程发生改变的资源属性,以及响应消息中必备的资源信息,其他信息均不进行加载,从而大幅度降低对系统内存的消耗。

2.2.2 目标资源定位快速

该优化缓存模型充分体现了资源之间的关联关系,多次采用数组结构体,进而在资源分配过程中,可以避免大量的遍历操作,实现目标资源的快速定位。

2.2.3 在管理资源数量方面可伸缩性较好

在资源的分配与回收过程中,由于不需要遍历大量的缓存资源数据,而是通过服务组标志、频点标志等作为数组进行查找,使得资源数量的大小对资源的分配与回收响应速率几乎不会造成影响,具备很好的可伸缩性。

3 算法描述

基于本文提出的优化缓存模型,本文提出了一种适用于该缓存模型的频点分配与回收方法。

3.1 资源分配算法描述

根据标准化的资源申请流程^[15],资源申请请求消息中将包含服务组标志、请求带宽等必要信息。算法步骤具体描述如下:

- a) 以请求服务组标志为下标,从服务组数组中获取频点链表,建立一个指针或引用指向所述链表中最大剩余带宽频点所在的头部(或尾部)节点,记为目标指针。
- b) 从所得频点链表中获取目标指针指向节点的频点结构体,如果该频点结构体为空,则回复分配失败响应,转向 h);否则,将该频点结构体记为优先分配频点,比较请求带宽与优先分配频点的可用带宽大小。如果前者大于后者,则回复分配失

败响应,转向步骤 h);否则,转向 c)。

c) 获取优先分配频点的可用端口链表,如果该可用端口链表为空,则将目标指针向后(或向前)移动一位,转向 b);否则,转向 d)。

d) 从可用端口链表中任意获取一个或多个端口资源作为分配端口资源,并将其从可用端口链表中移除。

e) 将优先分配频点的端口状态数组中下标对应上述分配端口资源的端口号的数组元素置为已占用状态。

f) 将优先分配频点的可用带宽更新为原可用带宽减去请求带宽,如果修改后的可用带宽等于零,则将优先分配频点的状态属性修改为不可再分配,否则,将状态属性保持为可用。

g) 回复分配成功响应,该响应包含优先分配频点频率、分配的端口资源等信息。

h) 回复分配失败响应。

3.2 资源回收算法描述

在资源分配成功后,需要将分配资源所在的服务组标志、所在频点数组下标、分配端口号、分配带宽等信息生成资源分配的唯一标志(sessionId),资源回收请求中须携带该标志字段。

a) 根据回收请求中的 sessionId 获取资源的服务组标志、所在频点数组下标、回收带宽,以及端口信息。

b) 以服务组标志为下标,从服务组数组中获取对应服务组结构体。

c) 通过所在频点数组下标,从上述服务组结构体中的频点数组中获取频点结构体。

d) 在该频点结构体的端口链表中加入新节点,其中,新节点数据为需回收的端口号。

e) 在该频点结构体的端口状态数组中,将与需回收的端口对应的数组置为可用状态。

f) 将频点结构体中可用带宽更新为原可用带宽加上回收带宽。

g) 判断该频点结构体的状态属性,如果为不可再分配,则将其更新为可用状态。

h) 回复资源回收响应。

3.3 算法平均时间复杂度分析

从算法的平均复杂度方面对文献[14]中已有算法以及本文所提出的算法进行理论分析与对比。假设 ERM 共管理 n 个服务组,平均每个服务组中包含 p 个频点资源,平均每个频点包含 q 个端口资源。平均时间复杂度记为 $T(r)$,其中, r 为规模参数,表示资源并发请求数量。

3.3.1 已有分配算法平均时间复杂度

根据文献[14]中所述的资源分配算法流程,对单次资源分配的算法平均时间复杂度作如下分析:

a) 根据服务组标志获取与其对应的频点集合,需遍历所有频点集合,长度为 $n \times p$,因此平均时间复杂度为 $O(n \times p)$ 。

b) 从上述频点集合中获取剩余带宽最大的目标频点,其平均时间复杂度为 $O(p)$ 。

c) 从目标频点的端口集合中获取可用端口的平均时间复杂度为 $O(q)$ 。

因此,已有分配算法的平均时间复杂度为

$$T_1(r) = [O(n \times p) + O(p) + O(q)] \times r \quad (1)$$

由于现实中 IPQAM 设备中每个频点通常包含固定个数的端口,即 q 为常量(通常为 10^1 量级),在管理大量资源数据、高并发请求的情况下, r, n, p 值会远大于 q 值,因此平均时间复杂度函数可近似为

$$T_1(r) = O(n \times p) \times r = O(n \times p \times r) \quad (2)$$

3.3.2 本文分配算法平均时间复杂度

根据 2.1 节中资源分配算法的描述,对单次资源分配的算法平均时间复杂度作如下分析:

a) 根据服务组标志获取服务组结构体,平均时间复杂度为 $O(1)$ 。

b) 从上述服务组结构体中获取目标频点,并将频点排序列表进行重排序操作,其平均时间复杂度为 $O(1) + O(p)$ 。

c) 从目标频点中获取分配端口,并修改端口状态的操作,其平均时间复杂度为 $O(1) + O(1)$ 。

因此,本文所提出的算法平均时间复杂度为

$$T_2(r) = [O(1) + O(1) + O(p) + O(1) + O(1)] \times r \quad (3)$$

即

$$T_2(r) = O(p \times r) \quad (4)$$

3.3.3 算法平均时间复杂度对比

通过对比式(2)(4)可知,在管理大量资源数据的情况下,本文所提出的算法的平均时间复杂度要明显优于文献[14]中算法的平均时间复杂度。

4 实验仿真分析

4.1 实验测试

为了对比实验的有效性,测试环境与文献[6]中的完全一致。本文所提出的算法应用于 ERM 系统,与 ERM 交互的 ERM 客户端为会话管理系统,两者之间用千兆交换机连接,测试环境搭建及服务器参数如图 4 所示。

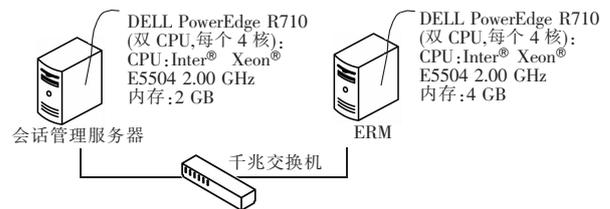


图 4 缓存模型测试环境

4.2 实验结果对比与分析

根据文献[6]所述实验方法,ERM 模拟管理 100 个可用 IPQAM 资源,每个 IPQAM 有 24 个频点,每个频点有 38 Mbps 带宽和 32 个端口,则共计 91 200 Mbps 的带宽资源、76 800 个端口资源。

ERM 客户端以多线程形式模拟资源申请客户端,具体包括 SDV、VoD、NPVR,以及 TVoD 请求,向 ERM 发送资源申请请求、心跳保持请求,以及资源回收请求。不断增加 ERM 客户端的请求速率,统计响应时延与响应速率之间的关系。

文献[6]中测得 ERM 系统响应时延与响应速率之间关系如图 5 所示。同样测试条件下,采用本文所述方法测得 ERM 系统响应时延与响应速率之间关系如图 6 所示。

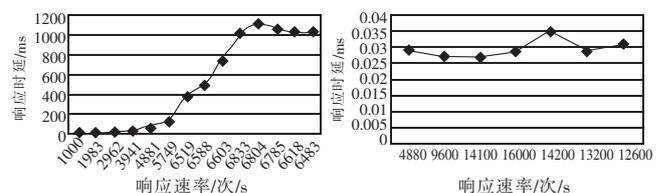


图 5 已有缓存模型实验结果 图 6 优化缓存模型实验结果

对比图 5、6 中的实验结果,在 ERM 系统响应速率上,图 6 中最高响应速率能达到 16 000 次/s,是图 5 中最高速率(6 833 次/s)的两倍之多;而在响应时延方面,图 6 中响应时延稳定在 0.02~0.04 ms,远远低于图 5 中 1 s 的时延。因此,

同样的测试条件下,本文提出的基于优化缓存模型的频点资源管理方法能够以更低的响应时延提供更高的响应速率。

为了进一步说明该优化缓存模型具备很好的系统可伸缩性,即在管理大量 IPQAM 频点资源的时候,同样具备高响应速率、低响应时延的特性。本文作进一步测试,测试环境仍采用上述环境,测试条件有所变化:

ERM 模拟管理更多的 IPQAM 资源,如 1 000 个可用 IPQAM 资源,不断增加 ERM 客户端请求速率,测得响应时延与响应速率之间的关系如图 7 所示。

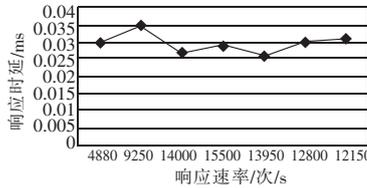


图 7 1 000 个 IPQAM 资源情况下实验结果图

由图 7 结果可知,虽然 ERM 管理的 IPQAM 个数从 100 增加到 1 000,但响应速率最高能够达到 15 500 次/s,略低于图 6 中最高速率 16 000 次/s,并且在响应时延方面稳定在 0.02 ~ 0.03 ms。因此,采用基于该优化的缓存模型的资源管理方法后,随着所管理资源数量的增加,并不会对系统的响应速率、响应时延造成大的影响,系统同样体现了高响应速率、低响应时延的特性,具备很高的系统可伸缩性。

5 结束语

本文提出了一种基于优化缓存模型的 IPQAM 频点管理方法。该方法对已有同类方法中缓存模型进行优化,并提出了一种适用于该优化缓存模型的 IPQAM 频点分配、回收方法。实验结果表明,该方法具备高响应速率、低响应时延等特性,为 ERM 提供了很好的系统可伸缩性。

参考文献:

[1] 罗亚,赵志强,王劲林. 应用于 HFC 网络交互业务的会话资源管理系统[J]. 电视技术,2008,32(9):55-57.

[2] 胡朋,李永涛,王志谦. 数字电视互动服务中 ERM 对边缘资源的管理[J]. 数字电视,2011,35(20):17-20.

[3] 李永涛,胡朋,王志谦. 基于 NGOD 架构的 VOD 系统边缘资源会话管理方法[J]. 数字电视,2011,35(19):1-3.

[4] 徐战,王劲林,朱明,等. 一种应用于混合格式 VOD 系统的 QAM 资源分配算法[J]. 小型微机计算机系统,2011,32(3):472-476.

[5] 韩锐,曾学文,孙鹏. 一种 HFC 接入网带宽拍卖分配算法[J]. 西安电子科技大学学报,2012,39(1):122-127.

[6] GONG J, REED D, SHAW T, et al. VOD QAM resource allocation algorithms [C]//Proc of International Conferences on Networking. 2006:268-280.

[7] GONG Jiong, REED D, SHAW T, et al. QAM resource allocation in mixed-format VOD systems [J]. Journal of Communications, 2007,2(1):1-9.

[8] HARDIN G. Method and apparatus for network bandwidth allocation: US,US20040881979 [P]. 2005-11-29. <http://global.sopat.com/Patent/Patent/48892771>.

[9] YU Yan, ESTRIN D, GOVINDAN R. Geographical and energy-aware routing: a recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks [EB/OL]. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.21.8533&rep=rep1&type=pdf>.

[10] IOSIFIDIS G, KOUTSOPOULOS I. Double auction mechanisms for resource allocation in autonomous networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2010,28(1):95-102.

[11] WEI Jiao-long, ZHANG Chi. Research on auction-based bandwidth allocation for computer networks [J]. Acta Electronica Sinica, 2003, 31(6):891-894.

[12] KELLY P, MAULLCOA A K, TAN D K H. Rate control for communication networks: shadow price, proportional fairness and stability [J]. Journal of the Operational Research Society, 1998,49(3):237-252.

[13] SHI Jun-cai, HU Ai-qun. A utility-based resource allocation algorithm for IEEE 802.16 OFDMA systems [J]. Chinese High Technology Letters, 2008,18(12):1218-1223.

[14] 鞠照明,王玲芳,刘磊. 互动电视边缘资源管理系统的设计与实现 [J]. 计算机工程,2012,38(17):258-260.

[15] 盛志凡,万乾荣,何沛中,等. GY/T-258 中华人民共和国广播电影电视行业标准[S]. 北京:国家广播电影电视总局,2012.

(上接第 238 页)

[3] HUANG Chenn-jung, WANG Yu-wu, LIAO Su-hui. A power-efficient routing protocol for underwater wireless sensor networks [J]. Applied Soft Computing, 2011,11(2):2348-2355.

[4] ZHOU Zhong, PENG Zheng, CUI Jun-hong, et al. Handling triple hidden terminal problems for multi-channel MAC in long-delay underwater sensor networks [C]//Proc of the 29th Conference on Information Communications. 2010:1-5.

[5] ZHOU Zhong, CUI Jun-hong. Energy efficient multi-path communication for time-critical applications in underwater sensor networks [C]//Proc of the 9th ACM International Symposium on Mobile Ad hoc Networking and Computing. New York: ACM Press, 2008.

[6] YAN Hai, SHI Z J, CUI Jun-hong. DBR: depth-based routing for underwater sensor networks [C]//Proc of the 7th International IFIP-TC6 Networking Conference on Ad hoc and Sensor Networks, Wireless Networks, Next Generation Internet. Berlin: Springer-Verlag, 2008:72-86.

[7] XIE Peng, CUI Jun-hong, LAO Li. VBF: vector-based forwarding protocol for underwater sensor networks [C]//Proc of the 5th International IFIP-TC6 Conference on Networking Technologies, Services, and Protocols: Performance of Computer and Communication Networks; Mobile and Wireless Communications Systems. Berlin: Springer-Verlag, 2006:1216-1221.

[8] ZHENG Guo, COLOMBO G, WANG Bing, et al. Adaptive routing in

underwater delay/disruption tolerant sensor networks [C]//Proc of the 5th Annual Conference on Wireless on Demand Network Systems and Services. [S. l.]: IEEE Press, 2008:31-39.

[9] INTANAGONWIWAT C, GOVINDAN R, ESTRIN D. Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks [C]//Proc of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. New York: ACM Press, 2000:56-67.

[10] DU Xiu-juan, LAN Sheng-lin, LIU Fan, et al. Micro-ANP network protocol architecture and simulation implementation [J]. Telkomnika, 2013,11(4):1757-1768.

[11] 杜秀娟. MANET 网络 MAC 层攻击综合检测方法 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2012,33(10):1271-1277.

[12] DU Xiu-juan, HUANG Ke-jun, LIU Fan, et al. Micro-ANP: a novel network protocol architecture for underwater sensor network; sensors, measurement and intelligent materials [J]. Applied Mechanics and Materials, 2013,303-306:223-230.

[13] SOUSA E S, SILVESTER J A. Spreading code protocols for distributed spread-spectrum packet radio networks [J]. IEEE Trans on Communications, 1988,36(3):272-281.

[14] 黄化吉,冯穗力,秦丽姣,等. NS 网络模拟和协议仿真 [M]. 北京:人民邮电出版社,2010.

[15] 王辉. NS2 网络模拟器的原理和应用 [M]. 西安:西北工业大学出版社,2008.