

OMNET++ 与 H. 264 视频编解码器的联合仿真研究

蔡敏捷 李波

(西北工业大学电子信息学院 西安 710129)

摘要 近年来流行的网络仿真平台 OMNET++ 由于欠缺对应用层视频特性的考虑而不能有效地评估在视频传输等多媒体业务的要求下无线 Ad hoc 网络中协议算法的性能。为了解决以上问题,提出了一种 OMNET++ 与 H. 264 视频编解码器联合仿真的方法,它以 H. 264 编码器作为 OMNET++ 的数据源,并以 H. 264 解码器作为视频传输质量的检验平台。利用提出的联合仿真方法,对视频在无线 Ad hoc 网络中的传输进行了仿真,并评估了该网络中 IEEE802.11 多址接入协议的性能。实验表明,提出的联合仿真方法能够为无线 Ad hoc 网络协议算法的设计与改进提供有效的检验平台。

关键词 无线自组织网络,视频编解码器,联合仿真,网络协议

中图分类号 TP393.04 **文献标识码** B

Research on Hybrid Simulation of OMNET++ and H. 264 Codec

CAI Min-jie LI Bo

(School of Electronics and Information, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

Abstract As a good network simulation platform coming into vogue, OMNET++ lacks the consideration for video characteristics at application layer. Therefore, it can not evaluate the performance of protocols of wireless Ad hoc networks well under multimedia application requirements. In order to overcome this disadvantage, a new hybrid simulation method based on the combination of OMNET++ and H. 264 codec was proposed in the paper. In the proposed simulation method, H. 264 encoder is used as the data source for OMNET++, and H. 264 decoder serves as the evaluator for video transmission quality. Based on the proposed method, we simulated the video transmission over wireless Ad hoc networks, and evaluated the performance of IEEE802.11 MAC protocol. Simulations show that the proposed hybrid simulation method can provide good evaluation for the design and improvement of protocols and algorithms in wireless Ad hoc networks.

Keywords Wireless Ad hoc network, Video codec, Hybrid simulation, Network protocol

1 引言

由于 Ad hoc 网络^[1]有广泛的应用前景,如何设计适用于 Ad hoc 网络的通信协议,成为近年来计算机以及通信领域的研究热点。为了评估 Ad hoc 网络中协议算法的性能,研究人员设计开发了各种网络仿真平台,如 NS-2^[2], OPNET^[3], OMNET++^[4]等。这些网络仿真平台包含了大量的用于有线以及无线网络仿真的协议模型,包括 TCP/IP, IEEE802.11 等,能够较为精确地实现对网络行为的仿真。

以上网络仿真平台虽然能够有效地评估网络性能,但仍有一定的局限性,主要表现在不能对实时的多媒体应用(比如视频传输)进行合理的仿真和评估。这是因为仿真平台中的应用层模块产生的多是等长且与内容无关的数据包,没有考虑视频编码数据的实际内容和特性,从而导致所设计的网络

协议算法欠缺与应用层的交互。即使经过网络仿真平台测试能够达到较好的网络传输性能,它也不能保证视频等多媒体业务的传输质量。基于以上情况,本文提出了一种网络仿真平台与 H. 264 视频编解码器联合仿真的方法。该方法基于近年来逐渐流行的一款优秀的网络仿真平台 OMNET++, 采用 H. 264 标准^[5]官方的开源编解码器作为其数据源和视频传输质量的检验平台,能够有效地仿真视频在 Ad hoc 网络中的实时传输。值得说明的是,虽然本文的工作是基于 OMNET++ 网络仿真平台,但其中的基本方法也同样适用于其它主流网络仿真平台。

本文首先简单介绍 OMNET++ 以及 H. 264 视频编解码器。然后详细阐述了 OMNET++ 与 H. 264 视频编解码器进行联合仿真的方法。最后,本文对视频在 Ad hoc 网络中的实时传输进行了仿真,并分析了 Ad hoc 网络中常用的基于

到稿日期:2010-03-09 返修日期:2010-05-25 本文受国家自然科学基金项目(60872045, 60572144),教育部新世纪优秀人才支持计划(CET-06-0876),西北工业大学基础研究基金(W018105),西北工业大学科技创新基金(2008KJ01005),航空科学基金项目(20095553026),西北工业大学青年科技创新基金(W016207)资助。

蔡敏捷(1986-),男,硕士生,主要研究方向为多媒体无线通信网络, E-mail: cmj5239970@163.com; 李波(1971-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为多媒体无线通信网络。

2 软件仿真平台

2.1 OMNET++

OMNET++ 是 Objective Modular Network TestBed in C++ 的英文缩写, 是开源的基于组件的模块化的开放网络仿真平台, 是近年来在科学和工业领域里逐渐流行的一种优秀的网络仿真平台。同 NS-2 和 OPNET 等仿真平台相比, OMNET++ 可运行于多个操作系统平台, 可以简便定义网络拓扑结构, 具备编程、调试和跟踪支持等功能。OMNET++ 的具体细节可以参考官方的用户手册^[4], 下面主要介绍其模块化的模型结构。

基于 C++ 对象的模块化结构是 OMNET++ 的重要特性之一。如图 1 所示, OMNET++ 的模型由简单模块 (simple module) 和复合模块 (compound module) 组成。简单模块是模块化结构中的基本单元, 主要用于接收和发送信息。信息传输有门传输和直接传输两种方式, 门 (gate) 之间通过连接 (connection) 相连, 用户可以修改连接属性, 如传输速率、传输延时、误码率等。门传输就是通过模块之间的门和连接, 按照一定的规则将信息传输到目的模块。直接传输则是通过仿真内核将信息直接传输到目的模块。

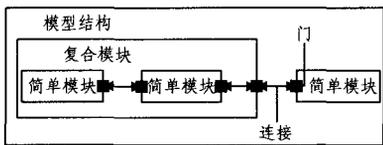


图 1 模型结构

复合模块由简单模块组成。简单模块和复合模块, 或者复合模块和复合模块又可组成更高一级的复合模块。这种模块化的结构为用户自定义网络模型提供了很大的便利和灵活性。以 Ad hoc 网络节点模型为例, 节点模型是一个复合模块, 由应用层模块、传输层模块、网络层模块以及无线链路层模块组成。而无线链路层模块本身也是一个复合模块, 由 MAC 层简单模块和物理层简单模块组成。OMNET++ 通过 NED 拓扑描述语言来定义模型结构, 也可使用图形界面来进行编辑, 但最终都会转化为 NED 拓扑描述语言。图 2 所示为 Ad hoc 网络节点模型的图形编辑界面。

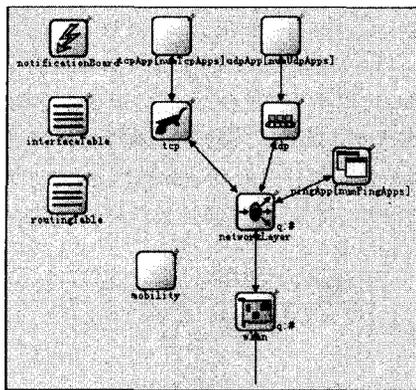


图 2 Ad hoc 网络节点模型的图形编辑界面

2.2 H.264 视频编解码器

H.264 是国际通用的数字视频编码标准。相比以前的标准, H.264 采用了许多新的编码技术, 如统一的 VLC 符号

编码, 高精度、多模式的运动估计, 基于分块的整数变换等。这些新的技术使得 H.264 标准具有很高的编码效率。此外, H.264 采用分层的语法结构, 整个算法分为两层: 视频编码层 (VCL: Video Coding Layer) 负责数字视频压缩编码; 网络提取层 (NAL: Network Abstract Layer) 负责根据网络的要求对编码数据进行打包和传送。分层的语法结构对网络的适应性强, 能够很好地适应 IP 和无线网络的应用。

H.264 编码器有两种输出格式, 分别为比特流格式和数据包格式^[7]。比特流格式中使用起始码前缀区分各个 NAL 单元; 数据包格式中, NAL 单元被封装成 RTP 包。两种输出格式都会把编码数据输出到一个后缀名为 .264 的文件中。本文中 H.264 编码器将使用数据包格式的输出作为联合仿真的数据源, 如图 3 所示。每个 RTP 包由 3 个部分组成: RTP 前导 (RTP Preamble) 指明了 RTP 包的长度和创建时间; RTP 头 (RTP Header) 包含负载类型、序列号、时间戳等重要信息; RTP 负载 (RTP Payload) 则包含了一个 NAL 单元的具体内容。



图 3 RTP 包数据结构

3 联合仿真方法

视频传输等多媒体业务的传输质量是由应用层所采用的编解码技术和底层网络传输质量 (如丢包率和分组延迟等) 共同决定的。设计多媒体业务网络传输策略必须同时考虑应用层和底层网络各自的性能特性, 因此多媒体业务网络传输的性能仿真也应考虑应用层和底层网络的联合仿真。基于这样的考虑, 我们提出了 OMNET++ 与 H.264 视频编解码器联合仿真的方法。它采用视频编码器的输出作为 OMNET++ 应用层模块的数据源, 并且将接收端接收到的视频数据包送入视频解码器进行解码。这样就可以真实地模拟视频在 Ad hoc 网络中的传输, 并合理评估该网络中协议算法的综合性能。

联合仿真的整体框架如图 4 所示。原始视频经过 H.264 编码器编码后, 以 RTP 包格式输出到 H.264 文件中。H.264 文件作为 OMNET++ 仿真的数据源, 在仿真开始后, 通过包提取程序生成独立的 RTP 数据包, 并通过 OMNET++ 的 IEEE802.11 网络模型仿真视频在 Ad hoc 网络中传输。在传输过程中, 信道衰落、节点干扰、网络阻塞以及时延门限等因素会造成一定的数据包丢失, 接收端将成功接收到的 RTP 包重新组合并生成 H.264 文件。最后, H.264 文件被送入 H.264 解码器中进行解码, 通过计算峰值信噪比 (PSNR) 以及视频回放来评估视频在 Ad hoc 网络中的传输质量。

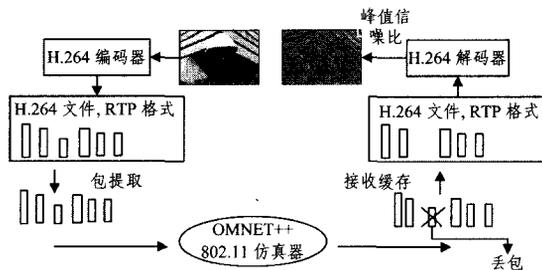


图 4 联合仿真整体框架

在联合仿真的具体实现中,我们使用了 Ad hoc 网络节点模型。由于仿真开始后的 RTP 包提取和仿真结束前的 RTP 包重组都在节点模型的应用层模块中完成,因而需要对 Ad hoc 网络节点模型做相应的修改。我们将分别负责发送和接收的一对节点作为视频传输对,发送节点需要实现 RTP 包提取功能,而接收节点需要实现 RTP 包重组功能。

修改前后的视频传输对的应用层实现流程分别如图 5 (a)、图 5 (b) 所示。其中,发送循环和接收循环何时结束由 OMNET++ 仿真内核控制。值得一提的是,图 3 所示的 RTP 包数据结构中的 RTP 前导第一个信息域指明了该 RTP 包的大小,这在很大程度上简化了从 H. 264 文件中提取 RTP 包的过程。

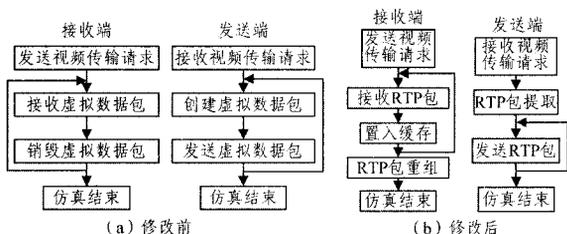


图 5 视频传输对应用层模块实现流程

此外,我们在 OMNET++ 内实现了新的 802. 11a 物理层模块,用以替换原有的 802. 11b 物理层模块,它的传输速率更高^[8],并支持 8 种不同的传输速率(6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps)。同时,采用双径地面反射(Two-ray ground reflection)传输模型替换原有的自由空间(free space)传输模型,更真实地反映了实际无线信道的信号衰落方式。

4 仿真及性能分析

4.1 仿真环境及参数设置

采用上述联合仿真的方法,我们对视频在 Ad hoc 网络中的传输进行仿真,并评估 IEEE802. 11 协议的性能。节点发送功率 P_t 为 20mW,传输范围为 589m,接收机灵敏度 sensitivity 为 -95dBm。本文采用 12Mbps 作为数据包传输速率,物理层的 PLCP 和 MAC 层的控制分组 RTS, CTS 及 ACK 分别采用 6Mbps 和 9Mbps 的传输速率。在 600m×600m 的区域内分布了 9 对节点,其中一对节点为视频传输对,传输经过 H. 264 编码器编码 CIF 格式的 foreman 视频序列,业务量约为 500kbps。其它 8 对节点为干扰节点,产生一定的背景业务。

在 26dB(一般)和 30dB(较好)两种信道质量下,选择以下 4 个参数来评估 IEEE802. 11 协议在 Ad hoc 网络中的性能:①丢包率(packet loss ratio),即应用层丢失的 RTP 包除以发送的 RTP 包,反映网络中传输视频数据的有效性;②端到端的平均时延(mean delay),表示从发送端到接收端所需要的时间,包括传输时延、网络接口队列时延、信道接入时延、传播时延等。端到端平均时延=RTP 包接收过程的总时延/接收的 RTP 包总数;③累积概率(cumulative probability),用于考察接收的 RTP 包的时延分布特性,能够反映视频数据传输的抖动性(jitter);④亮度峰值信噪比(PSNR_Y),峰值信噪比是反映视频传输质量的重要指标,由于人眼对亮度远较色度敏感,故我们选用亮度峰值信噪比来评估视频的传输质量。计算公式为

$$PSNR_Y = 10 \times \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right)$$

式中, $MSE = \frac{\sum_{n=1}^{Framesize} (I_n - P_n)^2}{Framesize}$ 为原始图像与解码重构图像亮度值的均方差, I_n 和 P_n 分别为原始图像和解码重构图像第 n 个像素的亮度值。

4.2 仿真结果及性能分析

首先,对不同背景业务下的丢包率和平均时延进行了评估。图 6 和图 7 分别表示了不同信道质量下丢包率与平均时延随总的背景业务量变化的关系。由图可以看出,无论哪种信道质量下,在总背景业务低于 5Mbps 时,丢包率和平均时延都很低;而当总背景业务高于 5Mbps 时,丢包率和平均时延呈现迅速上升的趋势。这说明在网络负载较大时,各个发送节点都在竞争有限的带宽。而 IEEE802. 11 协议无法保证视频传输对及时有效地接入信道,从而造成较大的平均时延,而数据包在队列中的积压以及传输时可能发生的冲突也导致了较为严重的丢包。

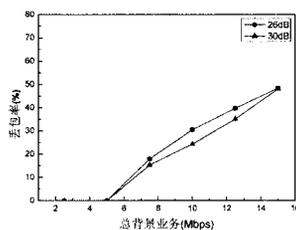


图 6 丢包率与总背景业务量的关系

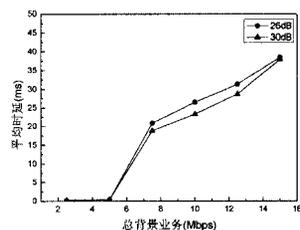


图 7 平均时延与总背景业务量的关系

其次,对 RTP 包的时延分布特性进行了评估。上述平均时延特性并未考虑视频传输对时延门限的要求,在实际视频传输应用中,一般要求将所有接收的数据包控制在一定的时延门限以内。这是因为在视频传输的过程中,存在很大的抖动效应(jitter),即各个接收到的数据包的时延各不相同,且与平均时延有很大出入。图 8 给出了总背景业务量为 6Mbps 时不同信道质量下 RTP 包的时延分布特性。由图中可以看出,30dB 信道质量下的抖动效应较小,而 26dB 信道质量下的抖动效应比较强烈。例如,当时延门限设置为 20ms 时,超过 20% 的 RTP 包将因为不能满足时延门限的要求而被丢弃,尽管它们的平均时延低于 10ms。

抖动效应直接影响着视频在接收端的回放质量。为了更好地理解这一点,我们将不同时延门限条件下接收到的视频数据送入 H. 264 解码器进行解码,并计算各自的亮度峰值信噪比。由图 9 可以看出,由于 30dB 信道质量下抖动效应很小,时延门限大于 10ms 时,亮度峰值信噪比较高;而 26dB 信道质量下抖动效应比较强烈,不同的时延门限对亮度峰值信噪比的影响很大。图 10 的视频回放快照更好地说明了这一问题。

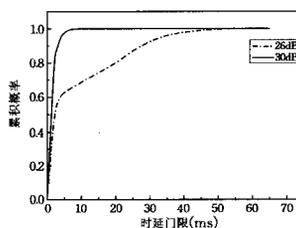


图 8 RTP 包时延分布

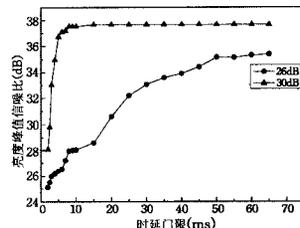


图 9 亮度峰值信噪比

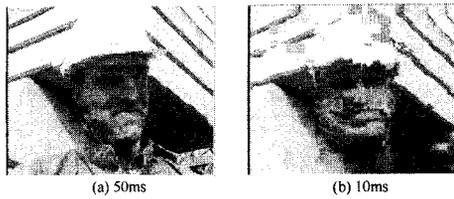


图 10 不同延时门限下的视频回放快照

结束语 本文提出的 OMNET++ 与 H. 264 视频编解码器联合仿真的方法,能够很好地评估在视频传输等多媒体实时业务的要求下 Ad hoc 网络中协议算法的综合性能,并为网络协议算法的进一步开发与改进提供了有效的检验平台。经过以上的性能分析,可以看出 IEEE802. 11 协议并不能很好地支持视频在 Ad hoc 网络中的传输,尤其是网络负载较大、视频业务对时延有较高要求时性能比较恶劣。为了支持视频在 Ad hoc 网络中的实时传输,保证视频业务的服务质量,相应的网络协议算法还有很大的改进空间。

参考文献

[1] Frodigh M, Johansson P, Larsson P. Wireless ad hoc network-

king-The art of networking without a network[J]. Ericsson Review, 2000(4): 248-263

[2] 徐雷鸣, 庞博, 赵耀. NS 与网络模拟[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003

[3] 陈敏. OPNET 网络仿真[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006

[4] Varga A. OMNET++-Discrete Event Simulation System Version 4.0 User Manual[EB/OL]. <http://www.omnetpp.org/>, 2003

[5] Joint Video Team(JVT) of ITU-T VCEG and ISO/IEC MPEG. Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification(H. 264/AVC)[S]. JVT, 2003

[6] IEEE. Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specification[S]. IEEE 802. 11, 1999

[7] 余兆明, 查日勇, 黄磊, 等. 图像编码标准 H. 264 技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006

[8] Qiao D, Choi S, Shin K G. Goodput Analysis and Link Adaptation for IEEE802. 11a Wireless LANs[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2002, 1(4): 278-291

(上接第 106 页)

高全文检索的效率。

5 相关工作比较

索引技术作为全文检索的核心技术之一得到了广泛研究,成果包括倒排文件、签名文件、后缀树等索引结构^[7]。并行全文检索很早就受到重视^[8],直到今天仍然是重要的热点研究领域。近年来随着对等网络的发展,基于对等网络的全文检索得到大量研究^[9]。

对等网络能够汇集网络边缘的存储、计算资源以及网络带宽,具有高可靠性和可扩展性^[10],为信息检索提供了有利条件。对等网络环境下信息检索的关键在于将请求发往恰当的节点执行。在结构化对等网络中一般采用 DHT^[11]技术,内容所处的位置由内容经 Hash 得到,即内容的位置由内容决定,因此可以高效率地找到查询节点。结构化对等网络中一般只能进行精确匹配,不能实现全文检索,文献^[12]提出的质心法解决了这个问题。

非结构化网络中最简单的方式是洪泛,这种方式效率很低。提高非结构化对等网络中信息检索性能的最主要的方法是节点聚类,即按照某种方法将对等节点分类,检索就可以被控制在一类或少数几类节点中进行。文献^[13]基于 Small World 原理,采用自适应线型空间算法将语义向量映射在一维小世界模型中以聚类节点。文献^[14]定义了反映用户偏好的用户模式树,通过计算用户模式树间的相似性,将用户分类为不同的社区。

本文利用主体的安全级来分类对等节点,不但在检索效率方面是对已有工作的重要补充,而且考虑了安全性,能够实现安全的对等全文检索。

结束语 基于安全覆盖网的对等全文检索充分发挥了对等系统对数据和计算资源、网络带宽的汇聚作用,并通过安全覆盖网将检索参与节点限制在一个小而满足安全要求的范围内,不但提高了检索效率,而且能够满足涉密信息检索的安全需求。实验结果表明,安全覆盖网对检索效率的提高具有明显作用。下一步将在实际政务办公自动化系统中部署基于安

全覆盖网的对等全文检索系统,研究和检验其效果并为改进提供依据。

参考文献

[1] Wen K, Lu Z, Li R, et al. A Semantic Search Conceptual Model and Application in Security Access Control[C]//Proceedings of the First Asian Semantic Web Conference, Beijing, China, 2006

[2] 李新. 密文全文检索技术[P]. 200410070113. 2004

[3] 李瑞轩, 卢正鼎, 宋伟, 等. 基于密文的全文检索系统[P]. ZL200610124691. 1. 2006

[4] Sandhu R, Ferraioloy D, Kuhny R. The NIST Model for Role Based Access Control Towards A United Standard[C]//Proceedings of the Fifth ACM Workshop on Role-based Access Control. Berlin, Germany, 2000

[5] Welcome to Lucene[OL]. <http://lucene.apache.org/>. January 10, 2010

[6] JXTA Community Projects[OL]. <https://jxta.dev.java.net/>. January 10, 2010

[7] 刘小珠, 彭智勇. 全文索引技术时空效率分析[J]. 软件学报, 2009, 20(7): 1768-1784

[8] Salton G, Buckley C. Parallel Text Search Methods[J]. Communications of the ACM, 1988, 31(2): 202-215

[9] Jiang Q, Guan J. A Peer-to-Peer Based Text Sharing and Retrieval System[C]//Proceedings of the Future Generation Communication and Networking 2007. Jeju Island, Korea, 2007

[10] Milojevic D S, Kalogeraki V, Lukose R. Peer-to-Peer Computing [Z]. Hewlett-Packard Company, 2002

[11] Kaashoek M F, Karger D R. Koorde: A Simple Degree-optimal Hash Table[C]//Proceedings of the 2nd International Workshop on Peer-to-Peer Systems. Berkeley, CA, USA, 2003

[12] 程学旗, 吕建明, 周昭涛. 基于对等网络的全文信息检索[J]. 计算机研究与发展, 2004, 41(12): 2148-2155

[13] Li M, Lee W-C, Sivasubramaniam A, et al. A Small World Overlay Network for Semantic Based Search in P2P Systems[C]//Proceedings of the 2nd Workshop on Semantics in Peer to Peer and Grid Computing. New York, USA, 2004

[14] 张亮, 邹福泰, 张文举, 等. 基于社区的对等网络信息检索[J]. 上海交通大学学报, 2006, 40(5): 767-770