

蓝牙与 802. 11b 视频流传输性能研究和比较

房 胜 梁永全

(山东科技大学计算机科学与技术系 青岛 266510)

摘 要 目前无线 ad hoc 网络发展的目标是支持多媒体数据的传输,基于 ad hoc 网络的视频流传输有着巨大的应用前景。但是无线传输介质的不稳定特性决定了其支持视频流传输存在较大的挑战。在分析蓝牙和 802. 11b 技术各自优缺点的基础上,设计了基于蓝牙和 802. 11b 无线 ad hoc 网络视频流传输的模拟实验架构。在不同码率和不同路径长度的模拟环境下测试了解码视频流的质量,研究、对比了二者在视频流传输中的性能。

关键词 蓝牙技术,802. 11b 技术,视频流,无线 ad hoc 网络

Comparison of Video Streaming Performance between Bluetooth and 802. 11b

FANG Sheng LIANG Yong-Quan

(Department of Computer Sci. and Tech., Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510)

Abstract As wireless ad hoc network architectures are now targeted to support multimedia traffic, streaming video over these technologies will give rise to interesting applications. But the variable nature of the wireless medium will not lend itself easily to supporting video streaming. After brief introduction of Bluetooth and 802. 11b, this paper designs a simulation scheme for performing video streaming over wireless ad hoc networks based on Bluetooth and 802. 11b. Under different video stream rates and path lengths, the decoded video stream qualities are measured to compare and analyze the performance of Bluetooth and 802. 11b.

Keywords Bluetooth technology, 802. 11b technology, Video streaming, Wireless ad hoc networks

1 引言

“普适计算”要求边缘网络必须支持移动特性,也即未来的边缘网络将主要是无线 ad hoc 网络,同时“普适计算”是以多媒体数据的传输和获得为前提的。这就要求无线技术必须能够有效地支持多媒体数据的传输,尤其是视频流的传输。本文描述的场景如图 1 所示,一个用户使用无线设备,如蓝牙^[1]或者 802. 11b^[2]设备,从 Internet 接入点 (Access Point) 或者其他设备(如监控摄像头)获取所需的视频流。视频流可以在两个设备之间直接进行传输,也可以通过其他设备进行中转。

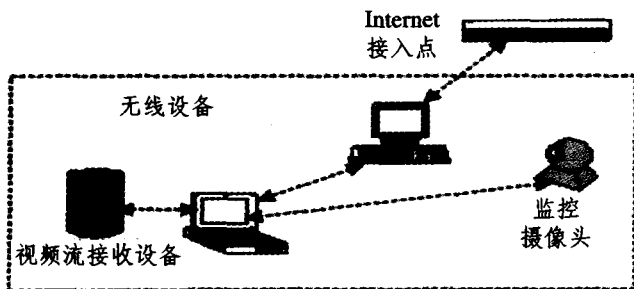


图 1 无线视频流传输场景

流媒体应用中,用户重视的是视频流播放时画面质量要好,播放速度要均匀。好的画面质量意味着视频流的码率要高,传输错误少;播放速度均匀意味着网络可用带宽波动幅度

小,数据包以匀速到达收端。使用户获得满意的流媒体服务对无线 ad hoc 网络来说是一个巨大的挑战。无线 ad hoc 网络具有如下特点:动态的网络拓扑结构、不断变化的信道容量、低功耗等^[3]。支持无线 ad hoc 网络的技术,如蓝牙、802. 11b 等,都是带宽有限的,并且相对于传统的有线网络更易于受到干扰,产生比特错误和丢包。在支持 ad hoc 网络的技术中,蓝牙和 802. 11b 是最受业界瞩目的两种技术。文[4]研究了蓝牙和 802. 11b 两种技术之间的干扰问题。本文利用 NS2 模拟器^[5],对视频流在蓝牙和 802. 11b 两种环境下的传输进行了不同码率和不同路径长度的模拟实验和性能分析。

本文第 2 部分简单介绍蓝牙和 802. 11b 两种技术,并进行对比;第 3 部分介绍模拟实验机制和实验结果,并进行分析和讨论,最后是结论。

2 蓝牙技术和 802. 11b 技术

2.1 蓝牙技术

蓝牙技术是由 SIG^[1] (Special Interest Group) 组织发起并推动的。该组织的创始成员有 Ericsson、IBM、Intel、Nokia 等公司,现在更受到 Motorola、微软等超过 2000 家企业的支持。蓝牙技术具有一整套全新的协议,是一种无线数据与语音通信的开放性全球规范,制定中的新协议规范正在谋求支持视频传输。蓝牙技术的数据速率为 1Mb/s,最大有效传输速率为 721kbps;时分双工传输方案被用来实现全双工传输。与其它工作在相同频段的系统相比,蓝牙技术采用跳频扩频技术 FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum),跳频速度

更快,每秒钟切换 1600 次;数据包更短,不超过 359 字节,这使蓝牙技术比其它系统更稳定。更详细的技术细节可参考蓝牙技术规范^[1]。

2.2 802.11b 技术

IEEE802.11 只规定了开放式系统互联参考模型的物理层和 MAC 层,其 MAC 层利用载波监听多重访问/冲突避免(CSMA/CA)协议,而在物理层,802.11 定义了 3 种不同的物理介质:红外线、FHSS 以及直扩扩频技术 DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum)。802.11 支持 1~11Mb/s 的较高数据速率。考虑到传输速率的问题,大部分 802.11 设备都采用 DSSS 技术。802.11 具有多个标准,其中 802.11b 最为业界看好,因为它对钢筋水泥的穿透性强,距离大多可以达到 100 m 以上。进一步了解 802.11b 技术,可参考文^[2]。

蓝牙技术和 802.11b 技术的参数对比如表 1 所示。相对于蓝牙技术,802.11b 的传输速率更高,传输范围更大;而蓝牙设备的价格更便宜,功耗更低。在拓扑结构上,一个 Master 蓝牙设备可以最多支持 7 个 Slave 蓝牙设备组成一个 Piconet,各 Piconet 可以进一步组成 Scatternet,实现数据在更大范围的中转传输。802.11b 无线设备可以支持两种工作模式:ad hoc 或 infrastructure,在 infrastructure 模式下各设备之间的通信必须通过一个接入点进行中转,此时 802.11b 技术主要是用于扩展 LAN,或者替代 LAN 形成 WLAN(Wireless LAN);在 ad hoc 模式下,802.11b 支持无线设备之间直接进行数据传输,每个设备最多可以同时与 8 个设备进行直接连接。工作于 ad hoc 模式的 802.11b 设备和蓝牙设备均可用于图 1 所示的无线视频流传输场景。

表 1 蓝牙和 802.11b 两种技术的对比

	IEEE 802.11b	Bluetooth
技术	2.4 GHz, DSSS	2.4 GHz, FHSS, 1600 跳/秒
带宽	11 Mbps	1 Mbps
传输距离	100 m	10cm to 10 m
拓扑结构	128 devices, CSMA/CA	8 devices, Piconet

3 无线 ad hoc 网络视频流传输

3.1 系统框架

模拟实验的系统框架如图 2 所示。首先采用 MPEG-4 编码器对 YUV 格式的原始视频数据进行编码,编码后的比特流经过 MPEG-4 分析器分割为指定长度的数据包,同时产生原始数据流分割记录文件。在 NS 模拟器中,对原始数据流分割记录进行格式转换,获得可用于 NS2 模拟器的数据流追踪文件,并与 CBR(Constant Bit Rate)模型结合在一起作为待发送的数据源。然后设计不同的网络拓扑结构,分别在蓝牙和 802.11b 两种无线模块中进行传输,传输层使用 UDP 协议,在 NS2 模拟其中新建一个 UDPSink 类,用于建立数据源和接收端连接,该 UDPSink 类记录、接收数据包的时间,数据包的大小、类别等。在模拟过程中,UDP 发送端和接收端分别产生发送端和接收端追踪文件,用于对网络状态和数据包统计特性进行分析。使用获得的追踪文件分析丢失的数据包和数据包的延迟。对于超过播放延迟上限的数据包,认为等同于丢失。结合原始的数据流分割记录,可以判定哪些数据包正确接收到。对于正确接收的数据包,使用 MPEG-4 解码器进行解码,获得的重构 YUV 文件与原始 YUV 文件进行对比,计算重构视频帧的峰值信噪比 PSNR。

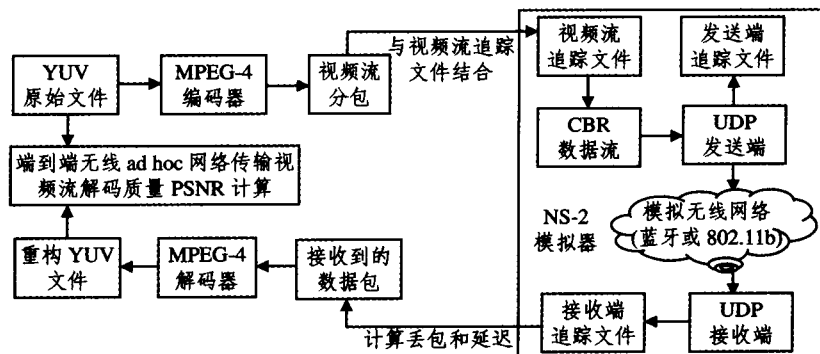


图 2 无线 ad hoc 网络视频流传输模拟实验系统框架

在 ad hoc 网络中,数据包的丢失和延迟是影响视频流的关键因素,而数据包的丢失和延迟与视频流的流量、信道容量、路径长度等因素是密不可分的。本文设计了不同视频流码率和不同路径长度两种模拟实验,下面分别进行详细描述。

3.2 不同码率下的视频流解码质量

采用图 2 所示的模拟系统架构测试视频流码率对无线 ad hoc 网络传输中视频质量的影响。模拟器搭建模拟架构。模拟环境拓扑结构如图 3(b)所示。QCIF 格式 Foreman 序列采用 MPEG-4 参考软件进行编码和解码,码率从 64kbps 至 512kbps,码流只包含增强层, GOP 长度为 12 帧,每对 I 帧之间有 3 个 P 帧,每对 P 帧之间(或者 I 帧和 P 帧之间)有两个 B 帧。视频流传送采用 CBR(Constant Bit Rate)模式,帧率为

30 帧/秒,总计 400 帧,UDP 包尺寸为 1000 字节。首先无线 ad hoc 网络采用 UCBT 蓝牙模块^[6],参数设置为:路由方式为手动指定路由,从左向右各节点依次进行转发;路径长度为 5;冲突距离为 22m,有效距离为 11m;使用 BNEP 协议^[1]实现逻辑信道连接;从 Master 节点到 Slave 节点数据包格式为 DH5,反之为 DH1。模拟实验结果如图 4(a)所示。

为了对比方便,802.11b 测试中同样采用图 3(b)的拓扑结构,只是没有 Master 和 Slave 差别,各节点之间分布距离为 100m,采用 NS2 集成的 802.11b 模块,路由协议为 AODV。模拟实验结果如图 4(b)所示。为了表示清晰,图 3 中只绘制了 3 种码率下的逐帧解码质量 PSNR,所有码率下的平均解码质量 PSNR 参见图 5。

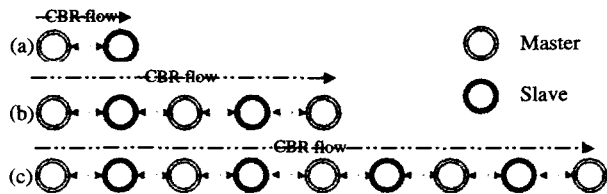


图3 无线 ad hoc 网络视频流传输的模拟拓扑结构

从图4和图5中可以看出,在低码率下(蓝牙:64~

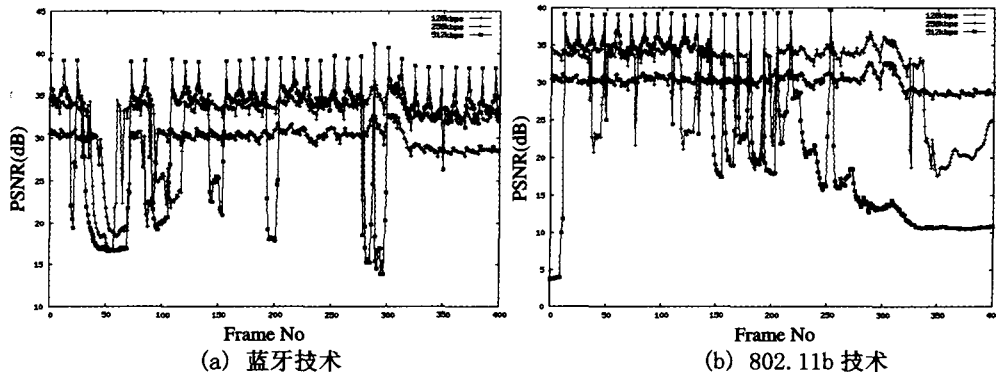


图4 无线 ad hoc 网络中不同码率下的各帧视频解码质量

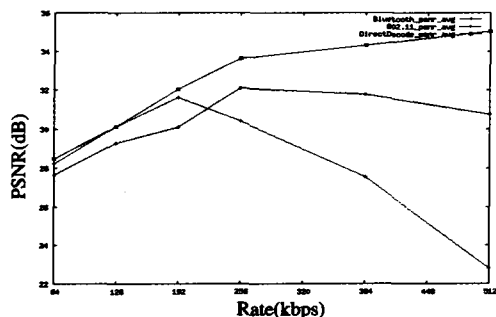


图5 蓝牙和 802.11b 平均解码视频质量对比

虽然蓝牙技术和 802.11b 技术随码率增长表现出的视频流失真度变化趋势是一致的,但是图4和图5显示了二者的行为仍然存在较大的差异。在低码率范围,802.11b 传输的视频流解码质量与未经传输直接解码的视频质量非常接近。从图4(b)看到 128kbps 码率下丢包率基本为 0,原因是低码率下数据所需的发射时间较短,节点间相互干扰较少,802.11b 的信道容量抑制了码率上升引起的失真度增加。而蓝牙技术中,由于带宽较低,其信道容量也较低。图4(a)显示 128kbps 下蓝牙传输视频已经开始出现丢包,所以在低码率下其视频流解码质量低于 802.11b;而较高码率下,视频流传输需要更多的射频发射时间,ad hoc 网络环境下多个节点之间的干扰引发较多的丢包。而 FHSS 技术比 DSSS 技术抗干扰能力强,虽然蓝牙设备的带宽低于 802.11b 设备,但其较高的抗干扰能力使其信道容量反而优于 802.11b。如图4所示,512kbps 下 802.11b 丢包率远远高于蓝牙技术,所以此时蓝牙设备传输的视频流解码质量优于 802.11b 设备。可见无线 ad hoc 网络中信道容量参数并不是一个恒定数值,它与链路的物理特性、视频流传输环境(路由选择的路径)以及传输码率等密切相关,必须动态地进行计算,视频流传输码率远高于文件传输和音频流传输,对所采用的无线技术影响较大。

256kbps,802.11b:64~192kbps),经过网络传输后,解码视频质量随码率的增加而增加;而在较高码率下(蓝牙:256~512kbps,802.11b:192~512kbps),随码率的增加解码视频质量反而降低。图5中,未经网络传输而直接解码的视频质量是码率的严格升函数,即质量随码率的上升而上升,这与经过网络传输获得的视频解码质量是不同的。原因是随着码率的增大,网络中丢包率逐渐上升,丢包和延迟引起的视频失真抵消并超过了码率增长带来的解码增益,最终导致码率超过一定阈值范围后,继续增长码率反而降低解码视频帧的质量。

通过以上分析可以得出结论:在多个节点存在的 ad hoc 网络环境中传输视频流,低码率下具有较高带宽的 802.11b 性能优于蓝牙;在较高码率下,具有高抗干扰能力的蓝牙性能优于 802.11b;视频流码率的高低将影响无线信道容量。

3.3 不同路径长度下的视频流解码质量

由于无线 ad hoc 网络中随机丢包概率的存在,以及设备间的相互干扰问题,视频流发送端到接收端的数据传输路径长度,也即节点数目起到了重要作用。为了分析路径长度的影响,在固定码率 256kbps 下,分别采用图3(a)、(b)和(c)的拓扑结构在蓝牙和 802.11b 环境中进行了模拟实验。实验结果如表2所示。随着传输路径的增加,解码视频帧的质量随之降低。而在 802.11b 中降低得尤其厉害,原因是随节点数目的增加,干扰随之增大,丢包数目急剧上升。

表2 视频流传输路径长度对视频流质量的影响

路径长度 (节点数目)	蓝牙		802.11	
	丢包数目	PSNR(dB)	丢包数目	PSNR(dB)
2	0	33.6372	0	33.6372
5	33	32.1246	86	30.437
9	50	31.4933	269	18.5438

综合以上实验结果,可以看出,码率提升是获得较高解码质量的前提。但是在无线 ad hoc 网络传输中,码率的增长势必引起丢包率的上升,导致解码质量下降,这是由于更多的数据量需要更长的发射时间,从而增加了无线设备间的相互干扰。蓝牙设备在抗干扰能力上优于 802.11b 设备,从而在较高码率下取得了更好的解码质量。路径长度的增加同样会造成干扰的增大,导致视频流失真度增大。干扰问题最终要表现为信道容量问题,因此在无线 ad hoc 网络中动态的路由选择,必须综合考虑信道容量、路径长度、视频流码率等因素。

结论 由于无线 ad hoc 网络是带宽有限的,并且易于受到干扰,造成较多的丢包,因此不能完全照搬传统有线网络中

(下转第 128 页)

型的无线网络 Sensor Network 和 Ad hoc Network 为例,系统地讨论了其中的安全问题。本文的讨论有两个基本假设:一是假设网络中的节点都是对等的,没有任何集中控制设备;二是假设网络中节点间的通信都是双向的,即如果 A 在 B 发射信号的覆盖范围内,那么 B 同样在 A 发射信号的覆盖范围内。如果不完全满足这两个条件,网络中还会有一些新的安全问题。

一些与有线网络完全相同的安全问题,如 Reply attack 和 IP spoofing 等,本文中未做讨论,有兴趣的读者完全可以参考有关的文献。另外,根据 Imrich Chlamtac 等^[1]的划分,本文所讨论的安全问题仅限于 Transport & Network Layer 层,至于应用层和媒体层的安全问题,亦不在本文的研究范围之内。

一般来说,有线网络在应用层所具有的安全问题,无线网络的应用层一样有,如病毒和木马程序等。另外,在无线网络中,还必须考虑在应用层提供节点激励机制(Incentive),以避免网络中的部分节点因不愿消耗有限电能,而不转发与自己无关信号的问题。在媒体层还需要考虑敌方通过物理损坏节点、采用大功率发射装置全向或定向对网络中的无线通信进行压制干扰等问题。上述这些安全问题,都是相对独立的研究方向,限于篇幅,有兴趣的读者可查阅相关文献。

无线组网技术是实现 Ubiquitous Computing 蓝图的基础,它不仅给通信带来了巨大的便利,也给网络安全技术提出了空前的挑战。

致谢 感谢加拿大 Carleton University 计算机学院的 Evangelos Kranakis 和 Michel Barbeau 教授,正是在这两位教授的指导下,笔者得以在 Entrust Lab 工作期间,从事了无线组网技术中安全问题的研究,两位教授已经连续 3 年作为 Ad Hoc 研究国际会议的组织和发起者。感谢加拿大国家研究中心(NRC)的 C. Yong 教授,他在航空机载无线通信组网方面的见解让我受益匪浅。感谢与我同实验室的 J. Hall 博士,她无私的帮助使我能在第一时间引述她的研究成果。

参考文献

- Chlamtac I, Conti M, Liu J J N. Mobile ad hoc networking: imperatives and challenges. *Ad Hoc Networks*, 2003, 1: 13~64
- Karlof C, Wagner D. Sensor Network Protocols and Applications. In: *Proceedings of the First IEEE International Workshop on*, 11 May 2003, 113~127
- Beraldi R, Baldoni R. Unicast routing techniques for mobile ad hoc networks. In: Ilyas M, ed. *Handbook of Ad Hoc Networks*. CRC Press, New York, 2003
- Belding-Royer E. Routing approaches in mobile adhoc networks. In: Basagni S, Conti M, Giordano S, et al. eds. *Ad Hoc Networking*. New York: IEEE Press Wiley, 2003
- Belding-Royer E M, Toh C K. A review of current routing protocols for ad-hoc mobile wireless networks. *IEEE Personal Communications Magazine*, 1999, 46~55
- Zhou Lidong, Haas Z J. Securing ad hoc networks. *Network, IEEE*, 1999, 13(6): 24~30
- Karpijoki V. Security in Ad Hoc Networks. In: HUT TML 2000 Seminar Security, 2000, 1~16
- Hall J, Barbeau M, Kranakis E. Enhancing Intrusion Detection in Wireless Networks Using Radio Frequency Fingerprinting. *Communications, Internet and Information Technology (CIIT)*, St. Thomas, US Virgin Islands, November 2004
- Kravets R, Krishnan P. Power management techniques for mobile communication. In: *Proceedings of the Fourth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM 98)*, Dallas, TX, October, 1998, 157~168
- Karlof C, Wagner D. Secure Routing in Wireless Sensor Networks: Attacks and Countermeasures. In: *Sensor Network Protocols and Applications. Proceedings of the First IEEE 2003 IEEE International Workshop on*, May 2003, 113~127
- Hu Y, Perrig A, Johnson D. Packet Leashes: A Defense against Wormhole Attacks in Wireless Ad Hoc Networks. *INFOCOM 2003*, April 2003
- Hu Lingxuan, Evans D. Using Directional Antennas to Prevent Wormhole Attacks. *Network and Distributed System Security Symposium*, San Diego, February 2004
- Hu Y, Perrig A, Johnson D. Wormhole detection in wireless ad hoc networks; [Tech Rep Tr01-384]. Department of Computer Science, Rice University, June 2002
- Bishop M. *Computer Security: Art and Science*. Addison Wesley, 2002
- Dreif D, Ahari S, Wu Kui, et al. Utilizing the Uncertainty of Intrusion Detection to Strengthen Security for Ad hoc Networks. In: *Ad-Hoc, Mobile, and Wireless Networks, LNCS*, 2004, 82~95
- Awerbuch B, Holmer D, Nita-Rotaru C, et al. An On-demand Secure Routing Protocol Resilient to Byzantine Failures. In: *Proceedings of the ACM Workshop on Wireless Security*, 2002, 21~30
- Douceur J R. The Sybil Attack. In: *1st International Workshop on Peer-to-Peer Systems (IPTPS '02)*, March 2002
- Castro L. Practical Byzantine Fault Tolerance, Symposium on Operating Systems Design and Implementation. *USENIX Association*, Co-sponsored by IEEE TCOS and ACM SIGOPS, 1999
- Ishida K, Kakuda Y, Kikuno T. A routing protocol for finding two node-disjoint paths in computer networks. In: *International Conference on Network Protocols*, November 1992, 340~347
- Xu Y, Heidemann J, Estrin D. Geography-informed Energy Conservation for Ad hoc Routing. In: *Proceedings of the Seventh Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, 2001
- Chen B, Jamieson K, Balakrishnan H, et al. Span: An Energy-efficient Coordination Algorithm for Topology Maintenance in Ad hoc Wireless Networks. *ACM Wireless Networks Journal*, 2002, 8(5)

(上接第 83 页)

的视频流传输机制。近年来备受业界关注的蓝牙和 802.11b 技术各有自己独特的价值,均可用于建立无线 ad hoc 网络,用于近距离无线视频流传输。本文使用 NS2 模拟环境,设计了不同编码码率、不同路径长度环境下的模拟实验,对两种技术在视频流传输中的表现进行了对比和分析。模拟实验结果表明:低码率下具有较高带宽的 802.11b 技术更具优势,但随码率的上升,在码率超一定阈值范围后,抗干扰能力强的蓝牙技术性能表现更好。实验结果的分析表明:视频流传输路径中的信道容量、路径长度与码率 3 个因素之间相互作用,共同决定了解码视频的失真度。因此,必须综合考虑上述因素来设置路由机制,才能更有效地降低视频流的失真度,这也是我

们未来的研究重点。

参考文献

- Bluetooth Specifications Version 1.1 [S]. <http://www.bluetooth.org>
- The Working Group for Wireless LANs. IEEE standards 802.11b-1999 [S]. <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>
- Frodigh M, Johansson P, Larsson P. Wireless ad hoc networking: the art of networking without a network [J]. *Ericsson Review*, 2000(4): 248~263
- Wi-Fi (802.11b) and Bluetooth: An Examination of Coexistence Approaches (2001): [Online document], Mobillian Corporation, 2001. <http://citeseer.nj.nec.com/461904.html>
- <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- <http://www.eecs.uc.edu/~cdmc/ucbt/ucbt.html>