

摘要

随着移动通信和 Internet 的迅速增长, 为个人提供高速接入 Internet 和其它通信业务的“最后一公里”问题已经受到广泛的关注, 无线接入技术的研究成为热点。本文首先回顾了无线接入的概念、发展状况及其关键技术, 接下来阐述了各种多址接入协议并指出了当前的研究所面临的技术问题, 进而介绍了仿真的方法、各种业务源的建模及无线差错信道的建模, 最后详细介绍了用于无线 Internet 接入的依赖用户数目完善安排分组传输的多址接入协议(User-dependent Perfect-scheduling Multiple Access---UPMA)并将其应用于无线 ad hoc Internet 接入, 建立了类似于 WWW 应用的业务源模型, 并通过计算机仿真分析了其性能。

关键词: 无线接入 多址接入 自组织 自相似

ABSTRACT

With the rapid growth of mobile communication and Internet, the last mile question which offer high speed access to Internet and other communication services for individual has been received wide attention. The researches on wireless access technology become hot. This paper first review the concept, the development and the critical technology of wireless access. Then various multiple access protocols are explained and the technologic problems confronted in the current research are proposed. Further the methods of simulation, the modeling of each kinds of traffic sources and the modeling of wireless error channel are presented. Finally User-dependent Perfect-scheduling Multiple Access----UPMA which is used for wireless Internet access is particularly introduced and applied for wireless ad hoc Internet access. Based on the traffic models similar to the WWW applications, the performance of UPMA is analyzed by computer simulation.

Keywords: **wireless access** **multiple access** **self-organizing**
 self-similar

Y405238

创新性声明

本人声明所提交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中加以标注和致谢中所罗列的内容以外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果；也不包含为获得西安电子科技大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中做了明确的说明并表示了谢意。

本人签名：翁继伟

日期 2007.1.4

关于论文使用授权的说明

本人完全了解西安电子科技大学有关保留和使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件，允许查阅和借阅论文；学校可以公布论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其它复制手段保存论文。（保密的论文在解密后遵守此规定）

本人签名：翁继伟

日期 2007.1.4

导师签名：李忠东

日期 2007.1.4

第一章 绪论

§ 1.1 引言

随着 Internet 和移动通信的快速发展, 两种技术的融合已成为一种顺理成章的趋势, 这必将引导人类社会进入移动信息社会的新纪元。现有的电路交换移动电话网络结构将向新一代基于分组的 IP 驱动的无线话音和数据网络演进。1999 年 10 月在瑞士日内瓦召开的世界电信博览会也推出未来电信业发展的主题: 以无线方式快速地进行网络连接。无线方式最有价值之处在于可为移动中的人们提供接入。正如寻呼机和移动电话已成为商业界人士公文包中的必备品一样, 掌上机和笔记本电脑也成为移动办公不可缺少的一部分。随着便携式计算机的日益小型化和无线传输技术的改进, 必然会产生巨大的无线数据业务的需要。随着以 IP 为代表的业务爆炸式增长, 能提供高速、廉价访问的宽带网已成为未来网络发展的必然趋势。目前, 骨干网已可以达到吉比特甚至太比特的带宽, 高达 160Gbps 的波分复用系统的投入应用则解决了传输环节上的带宽问题, 于是, 离用户最近的接入网部分则成为制约网络向宽带化发展的瓶颈。如何突破“最后一公里”, 各种宽带接入解决方案纷纷登台亮相, 从而使这一技术领域呈现出异常活跃的竞争态势。无线接入作为一种能够快速、灵活提供通信业务的手段, 近年来受到运营商的青睐。

未来通信网络的发展决定无线接入技术的发展方向。未来的通信网将向综合化、宽带化、智能化方向发展。电信网、Internet 网、CATV 网互相融合已成为大势所趋。使电信网除提供电话业务外, 还要提供电视、高速数据、多媒体业务。最终实现个人通信的目标: 即实现任何人在任何时间、地点与其他任何人进行任何种类的信息交流。无线接入在未来的通信网中占有十分重要的位置, 无线接入技术必然向综合化、宽带化、智能化方向同步发展。

§ 1.2 研究高速无线接入系统中多址接入协议的意义

无线通信网中最宝贵的资源就是信道(相应于一定带宽的频带)。每个用户或终端都想使用信道。如果多个用户同时争用某一信道, 那么就必然发生碰撞。如果都不用某一信道, 那么该信道就会空闲, 造成信道资源浪费。因此, 共享信道的准则——多址接入协议是高速无线接入的关键技术之一。

在目前的移动通信中, 由于传输速率较低, 提供业务种类少(主要是话音业务), 对无线资源使用效率的要求并不很高。但在未来高速无线网络中传输速率

大为提高, 持续时间短, 具有突发性的业务将占据主导地位, 因此有效地控制无线终端使其合理地占用有限的网络资源是一个重要课题。

多址接入协议必须支持高速无线接入网络中的各种业务并保证各自的 QoS 指标。选择多址接入协议的关键因素是在适当保持无线信道的高效率基础上以合理的 QoS 等级支持网中的业务。多址接入协议对通信服务性能、网络容量和复杂度以及无线终端的复杂度都有着重要的影响。它需要支持现代无线通信网中的各种业务服务, 在任何的网络负载情况下都要保持必要的 QoS 水平, 并为无线终端提供公平的共享网络资源的机会, 在保证一定 QoS 的条件下, 多址接入协议应尽可能地提高无线信道的利用率, 面对不同的业务流量负载, 协议除了保证必要的实现可靠性外, 还应该表现出极大的灵活性, 以完成有效的统计复用, 尽量减少带宽浪费。为了减少无线终端在体积、功耗、成本和复杂度等方面的负担, 网络和接入点应完成多址接入协议的主要功能。

常见的多址接入方式有频分多址(FDMA)、时分多址(TDMA)、码分多址(CDMA)以及随机多址(如 ALOHA 等)。FDMA 由于使用简单方便, 已在第一代蜂窝系统中被广泛应用。第二代蜂窝系统多采用 TDMA。在第三代蜂窝系统中, 多址技术将以宽带 CDMA 技术为主。近年来动态 TDMA 技术得到了广泛的重视和研究。D.J.Goodman 等人提出了分组预约多址(PRMA)协议, N.Amitay 等人提出了资源拍卖多址(RAMA)协议, X.Qiu 等人提出了动态预约多址(DRMA)协议等。由于动态 TDMA 能充分利用信源的统计特性来统计复用有限的频率资源, 相比于 TDMA 系统较大幅度地提高了系统容量。CDMA 具有频谱利用率高, 频率安排简单, 软切换, 保密性能好以及容量大等优点, 从理论上讲, CDMA 系统要优于 TDMA 系统, 但当业务量接近于信道容量时, CDMA 系统的通过率就会急剧下降。故而 CDMA 系统的数据速率比较低, 难以满足多媒体业务的要求。CDMA 的优势之一是其克服多径衰落的能力, 虽然一般认为, 单纯的 DS CDMA 难以提供高速的数据传输, 因为它要求比数据带宽宽得多的射频带宽, 对 156Mbit/s 的数据传输速率, 如果处理增益为 15, 则要求射频带宽为 2.325GHz, 显然简单的直扩方法难以实现。但是将其与跳频(FH)或多载波传输技术相结合, 则可以获得高速率的数据传输。近来这方面的讨论很多, 主要有宽带 CDMA(W-CDMA)、多速率 CDMA(MR CDMA)、多载波 CDMA(MC CDMA)、多码 CDMA、混合 DS/FH CDMA、混合 CDMA/FDMA 等等。从载波频率使用情况看, 可分为单载波 CDMA 和多载波 CDMA, 而多载波方案一般都与正交频分复用(OFDM)有关, OFDM 是最有效的频分复用方法, 各相邻载波间的保护带最小。将 OFDM 技术用于 CDMA 可以有效提高数据的传输速率。

在现有的各种网络中, 由于用于各种网络的拓扑结构、用户数、业务量大小、用途等诸因素各不相同, 所用的多址方式也是多种多样的。有的多址方式是上述

几种方式的变形和推广,有的是固定多址与随机多址相结合,有的将是上述多址方式与扩频多址方式相结合等等。在本文中我们主要研究动态 TDMA 技术。

§ 1.3 本文研究的主要内容

本文是在国家 863 计划 317 主题的重大课题“宽带无线 IP 系统”和国家自然科学基金课题“高速信息网络的高速无线接入技术研究”的支持下进行的。首先对无线接入网进行了简要的介绍,其次研究分析了各种主要的多址接入协议,然后说明了仿真的方法及业务源、无线差错信道的建模等。在此基础上着重阐述了本课题组提出的用于无线接入 Internet 的 UPMA 多址接入协议,并对其进行了性能仿真分析。具体研究工作分为以下几部分:

- 1.描述无线接入的概况、关键技术等。
- 2.分析了各种多址接入协议。
- 3.介绍各种仿真方法。
- 4.说明各类业务源的建模。
- 5.描述无线差错信道的建模。
- 6.UPMA 三种模式的性能仿真。
- 7.UPMA 应用于 ad hoc 网络的的性能仿真。

第二章 无线接入系统介绍

§ 2.1 引言

近年来,以因特网为代表的新技术革命正在深刻地改变传统的电信概念和体系。目前,北美骨干网上的业务量已达到了约 6-9 个月左右就翻一番的地步,而且迄今没有减缓的迹象。传统电话网将不可避免要过渡到以数据业务特别是 IP 业务为中心的融合的下一代电信网,这种下一代电信网的基本特征将是宽带化和 IP 化。目前波分复用系统的带宽已达 400Gbit/s,太比特路由器已经问世,这种巨大的链路和节点带宽正是实现上述战略性转变的物理基础。另一方面,用户侧终端的速率也在突飞猛进,其 CPU 的性能每 18 个月就翻一番。从电子邮件到 Web 浏览乃至视频业务,带宽要求正以几倍几十倍的速度增长。然而,面对核心网和用户侧带宽的快速增长,中间的接入网却仍停留在窄带水平,而且仍主要是以支持电路交换为基本特征,与核心网侧和用户侧的发展趋势很不协调。显然,接入网已经成为全网带宽的最后瓶颈,接入网的宽带化和 IP 化将成为下一步接入网发展的主要技术趋向。

理论上,全光缆接入网络将是比较完美的解决方案,但实现上对接入网络的要求过高,即使在发达国家也还远远未能实现。据最近的统计资料,在美国 460 万商业大楼中,光纤到大楼只有 1%;而事实上,商业、企业里约 95% 以上的商业企业是少于 20 个雇员的中、小型企业,向这类中小型商业用户提供光纤接入,经济上并不合算。与有线接入比较,无线接入有以下特点:

- 无线接入网的成本与传输距离无关,对用户密度等因素不敏感,特别适于距离稍长、用户密度不高的地区。
- 运营成本低,取消了铜线分配网和铜线分接线,无需人员修复设备线路,减少这部分费用。
- 扩容方便,采取逐步增加投资的方式可以更准确地跟踪用户需求的增长,扩容方便而且资金回收快。组网灵活、安装迅速、建设周期短。
- 安全性好、抗灾能力强。对地震、水灾等,无线系统比有线系统的抗灾能力强,同时灾毁后易于修复。

无线接入技术作为电信网当前发展最快的领域之一,主要是解决固定和移动电话通信的接入问题,同时也可以解决移动终端访问 Internet 等窄带数据移动通信业务接入问题。无线通信的特点决定了无线接入在以下几个方面有特别的应用:

- 人口稀疏的农村和边远地区:有线接入投资大、效益低,采用无线接入

是比较好的办法。

- 受地理环境或气候条件的限制的地区：如山区、海岛、水网地区、沙漠地区等，埋设电缆困难和架设明线不易，无线接入是唯一选择。
- 城市新兴商业区和居民区：电话需求量大，新建市话网投资大、时间长。采用无线接入则可在短时间内满足要求。
- 临时急需电话的地区：如在大型建筑工地、大型体育赛事、抢险救灾、公安、铁路、非常时期、应急操作等急需接入的场合，采用无线接入是最好的解决方法。

§ 2.2 无线接入系统概述

无线接入系统主要由用户无线终端（SRT）、无线基站（RBS）、无线接入交换控制器以及与固定网的接口网络等部分组成。其基站覆盖范围分为三类：大区制 5~50 千米，小区制 0.5~5 千米，微区制 50~500 米。无线接入技术是指接入网的某一部分或全部使用无线传输媒质，向用户提供固定和移动接入服务的技术，即从公用电信网的交换节点到用户终端全部或部分采用无线手段的接入技术。无线接入的优点是可以提供一定程度的终端移动性，开设速度快，投资省，缺点是传输质量不如光缆等有线传输方式，适用于移动宽带业务的无线接入技术尚不成熟。

从技术上来说,按照使用的媒介不同,接入网可划分为有线接入网和无线接入网。无线接入分为移动无线接入和固定无线接入。移动无线接入就例如我们熟悉的移动电话接入等,用户是可移动的;而固定无线接入与此正好相反,用户基本是固定不动的。

一. 固定无线接入技术

(一)LMDS(本地多点分配业务)

无线接入技术正从窄带、中宽带向宽带方向发展,以 LMDS 为代表的宽带无线固定接入技术正越来越受到广泛关注,成为一种不可忽视的发展趋势。这种系统工作在 20GHz~40GHz 频带上,传输容量可与光纤比拟,同时又兼有无线通信的经济和易于实施等优点。窄带和中宽带无线接入是基于电路交换的。但宽带无线接入系统是基于分组交换的,是一种点到多点的结构,由一个中心站和许多用户站组成。宽带无线接入 LMDS 是从微波视频分布系统(Microwave Video Distribution System MVDS)发展而来。作为一种新兴的宽带无线接入技术,LMDS 为最后一公里宽带接入和交互式多媒体应用提供经济和简便的解决方案,它的宽带属性决定它几乎可以承载任何种类的业务,包括远程办公、高速 LAN 互联、基于 IP 的 VPN、传统的和新型的电话通信、视频会议、视像监控、远程医疗、

远程教学、PCS 骨干网以及住宅多媒体等。随着 Internet 爆炸性的增长, 基于 IP 的应用将推动 LMDS 网络的发展。

(二) 卫星固定接入系统

按照目前的发展情况看, 步子迈得较快的有 Teledesic、Skybridge、Spaceway、CyberStar 等系统。这些系统均从未来宽带业务需求出发, 将 GEO (静止轨道卫星) 系统的多点广播功能和 LEO (低轨道卫星) 系统的灵活性和实时性结合起来, 工作于 Ka 波段或 Ku 波段, 可为固定用户提供高速的交互式业务和广播业务, 除 Internet 高速接入外, 还可提供会议电视、可视电话、远程应用等多种交互式业务。也就是说, 利用全球宽带卫星系统可建设宽带的“空中 Internet”, 这是一种具有类似于光纤通信业务能力的网络, 同时, 作为一种宽带接入系统, 在没有宽带地面基础设施, 或者是采用地面基础设施很不经济的地区可用于宽带无线本地环路。

(三) 扩频微波

扩展频谱(Spread Spectrum)技术, 简称扩频(SS)技术, 近年来, 在无线通信中的应用和发展非常迅速, 采用扩频技术的产品也不断涌现, 而且更新很快。扩频微波和微波无线技术使用工业、科研、医疗(ISM)频段的频率有: 902~928MHz、2.4~2.4835GHz、5.725~5.85GHz、U-NII 频段有: 5.15~5.35GHz, 传送速率可达 2Mb/s、4Mb/s、10Mb/s。扩频微波传输方式最常用的有两种: 一种是直接序列(Direct Sequence, DS)扩频技术(简称直扩); 另一种是跳频(Frequency Hopping, FH)技术。DSSS 以固定模式传输本频段内信号, 因而可以更加充分地利用带宽; 而 FHSS 则以随机模式传输信号, 信号传送过程中要经过多次握手和同步, 效率较低。

二、移动无线接入的方式

(一) 移动通信系统

第一代蜂窝移动通信系统以 FDMA 方式和模拟调制为特征, 称为模拟蜂窝移动通信, 传送模拟电话信号。这类系统简单, 但频率利用率低, 系统容量小(仅为带宽的 10%左右), 话音质量差, 通信的专用性和保密性不强, 难以继续发展。第二代蜂窝移动通信以 TDMA 和数字调制为特征, 称为数字蜂窝移动通信。其质量、系统容量、功能和功耗都有很大改进, 系统容量为带宽的 30%左右。它不仅适于国内网而且适于国际网。目前第二代蜂窝移动通信技术十分成熟, 在通信领域自成体系, 形成相当的规模。一类是采用 TDMA 技术, 如: GSM 系统, D-AMPS 系统, PDC 系统等。第二代蜂窝移动通信系统除传送数字话音外, 还可传送低速数据(<9.6kbps)。另一类应用了先进的 CDMA 技术和扩频通信技术, 称为窄带 CDMA 蜂窝移动通信系统。它可提供微蜂窝小区环境且有较好的操作和业务灵活性, 较好的话音质量和比第二代蜂窝移动通信系统更大的系统容量、可靠性, 通

信覆盖能力也进一步加强。目前,这类窄带 CDMA 蜂窝移动通信系统已投入运营,而实用的能够提供更强的业务能力的宽带 CDMA 移动通信系统正在开发研制中。

第三代无线接入技术的主流是 CDMA。主要的三个国际标准分别是 WCDMA、CDMA2000 和 TDD-CDMA。

WCDMA 系统中采用导频符号相干 RAKE 接收机技术,将从导频符号得到衰落信道的振幅和相位信息,作为 RAKE 接收机最大比值的加权系数,取得了很好的效果。不采用 GPS 精确定时方式,不同基站间不采用精确定时,而采用较为自由的信道管理方式,并在布设室内基站方面较为灵活。另外,WCDMA 采用了精确的功率控制。

cdma2000 系统扇区内采用连续导频信道广播,能提供独立于传输速率的功控、定时和相位纠正,能以较小的复杂度提供基站的快速捕获和邻近基站的快速搜索。CDMA2000 为了兼容 cdmaOne,以原 cdmaOne 的基本码片速率的三倍,即 3.6864Mchip/s 作为 CDMA2000 的基本速率进行直接扩频调制。同时,CDMA2000 还定义了以原 cdmaOne 系统 3 个基本信道(带宽 1.25MHz)作频分复用的多载波扩频调制方式。

TD-SCDMA 将当今国际领先技术智能天线、同步 CDMA 和软件无线电等融于其中,具有较高的频谱利用率、较低的成本和较大的灵活性,很具竞争性。与前两种方案不同的是,TDD 系统可工作于非对称频谱。另外,由于上下行链路不是按频率不同划分,而是按时域进行分离,因此基站间的同步十分重要。TDD-CDMA 兼有 TDMA 与 CDMA 的特征,它将时间分割成互不重叠的时隙,每个时隙中包含若干个 CDMA 码信道,时隙根据业务需求灵活分配,具有提供不对称业务的能力。

(二)无绳电话系统

无绳电话系统是有线固定电话终端的延伸,无绳电话系统的突出特点是灵活方便。这类固定的无线终端可以同时带有几个无线子机,子机除和母机通话外,子机之间还可以通信。一类工作频率一般在 45MHz,天线覆盖在 100 米左右。另一类如 DECT、PHS 等标准的无绳电话系统工作频率在 800MHz~1.9GHz。数字增强无绳电话(DECT)标准支持话音、高速数据和视频,使它成为最有力和最重要的通信标准之一。DECT 的应用几乎不受限制,包含了诸如无线用户小交换机(PBX)、ISDN、电信点(telepoint)和无线本地回路。DECT 也是无绳终端移动(CTM)业务的首选接入技术。一个 DECT 接入网包括控制若干基站的公共控制固定部分(CCFP),名为无线电固定部分(RFP)。手机或移动部分(MP)也可能是一个 PC 机插入卡。DECT 接入网能方便得到标准核心网的支持(例如 PSTN 或 ISDN),因为它向不同的网络,包括话音网和数据网,提供标准化的无线接口(互通)工具。DECT

因为有高级的无线电协议,可在单个数据流中综合多个承载,从而提供变化极大的带宽。DECT 用一个 DECT 无线电基站可支持的净数据通过率为 $n \times 24 \text{ kbit/s}$,最多为 552 kbit/s 。在 DECT 的公共空中接口上可传送分组数据的能力大大提高了它的效益,使 DECT 有别于目前大多数的无线电接入技术。DECT 适合室内环境的移动通信以及有限距离的室外应用。DECT 采用动态无线电信道选择方案,就半径约 10 公尺的蜂窝而论支持的业务量最高达 10000 爱尔兰/平方公里。

(三)无线局域网

无线局域网(Wireless LAN, 简称 WLAN)是计算机网络与无线通信技术相结合的产物。它不受电缆束缚,可移动,能解决因有线网布线困难等带来的问题,并且组网灵活,扩容方便,与多种网络标准兼容,应用广泛等优点。WLAN 既可满足各类便携机的入网要求,也可实现计算机局域网远端接入、图文传真、电子邮件等多种功能。

802.11 标准在 2.4GHz ISM 频带使用扩频技术将数据速率提高到 2Mbps,并且保证一定的 QoS, IEEE802.11 中的媒体接入控制(MAC)支持鉴权、扰码、频率管理和功率限制功能,这些在其它 802 标准的 MAC 层是无法提供的。近期,802.11 标准得到了进一步的完善和修订。802.11a 扩充了标准的物理层,规定该层使用 5GHz 的频带。该标准采用正交频分调制数据,传输速率范围为 6Mbps~54Mbps。这样的速率既能满足室内的应用,也能满足室外的应用。802.11b 是 802.11 标准的另一个扩充,它规定采用 2.4GHz 频带,调制方法采用补偿码键控(CCK)。CCK 来源于直接序列扩频技术,多速率机制的介质接入控制(MAC)确保当工作站之间距离过长或干扰太大、信噪比低于某个门限时,传输速率能够从 11Mbps 自动降到 5.5Mbps,或者根据直接序列扩频技术调整到 2Mbps 和 1Mbps。

HiperLAN 是下一代高速无线 LAN 技术,它能给最终用户提供高达 25Mbps 的高速数据。HiperLAN/2 是这一技术的最新版本,它与“蓝牙”技术相结合,将使无线 LAN 的发展实现新飞跃。HiperLAN/2 最引人注目之处是它能够在 5GHz 的频段上运行,而传统的无线 LAN 技术大多使用 802.11 标准的 2.4GHz 频段。

蓝牙移动通讯技术为提供短距离无线通讯网路的解决方案。因为其技术有国际大厂的支持,且应用范围极广,又有庞大的预估市场(预计 2002 年蓝牙模块需求将突破一亿套),故目前蓝牙技术已为全球科技先进国家最重视的无线通讯技术之一。虽然蓝牙系统的 1.1b 版已在 1999 年底由 SIG 国际组织订定。但因其 1Mbps 的数据传输速率仍不足支持无线多媒体传输,且其排程(Scheduling)问题与接入控制(MAC)亦有待改进以提高频带资源使用效益,故 SIG 国际组织目前仍在研发新的下一代蓝牙标准版本。

(四)移动卫星接入系统

移动卫星接入系统通过同步卫星实现移动通信联网是一种理想的无线接入方式，可以真正实现任何时间、任何地点、任何人的移动通信。这种系统通常需要卫星运行在低轨道，并且需要较多的卫星，投资很大。卫星接入系统的最大特点是利用卫星通信的多址传输方式。为全球用户提供大跨度、大范围、远距离的漫游和机动灵活的移动通信服务，是陆地移动通信系统的扩展和延伸，在边远的地区、山区、海岛、受灾区、远洋船只、远航飞机等通信方面更具有独特的优越性。

三、宽带 IP 无线移动接入技术

移动信息社会是通过开发先进的移动 IP 网络和设备，在用户中实现在任何时间，任何地点，在移动中为他们提供所需的多媒体业务。这就需要基于 IP 的无线移动接入网，该网应该是一个统一于 IP 协议的网，包括 2G、3G、无线 LAN、家庭和办公室等一系列无线接入网技术的综合，以统一的 IP 接入方式与 IP 核心网连接。新 IP 无线移动接入网，需开发支持多 IP 地址，安全可靠的保障和不同 QOP 水平的无线接入网，并需要 IPV6 的支持。GPRS 和 WAP 技术的诞生，使无线移动接入成为可能。GPRS 是一种基于分组交换传输数据高效率的方式，其数据率是现有 GSM 的十倍以上，巨大的吞吐量改变了单一面向文本的无线应用，使得包括图片、语音和视频的多媒体业务得以实现。WAP (Wireless Application Protocol) 是一种标准，是无线应用协议标准，它的作用是将 Internet 网的内容和数据服务引入无线移动终端，即 WAP 成为移动通信通向 Internet 的桥梁。WAP 克服了无线网络和终端在传输无线多媒体和无线 IP 数据时所存在的局限，针对无线环境的独特性提出了建立在现有的 Internet 标准基础上的新协议。而且 WAP 是一个开放且全球统一的标准，支持包括 GSM 的各种移动网络，而它与 GPRS 结合是目前最佳方案。随着 GPRS、第三代移动通信系统的逐步商用，速率进一步提高，因此无论从价格上还是速率上，无线 IP 完全有能力与有线通信相抗衡。

§ 2.3 无线接入系统的一些关键技术

无论是高速无线 LAN 还是无线 ATM，在实现宽带无线接入时都需要以下关键技术的支持，虽然这些技术在中、低速无线传输应用中已较为成熟，但在高速可靠无线传输和移动性支持方面都面临着新的挑战。

(1) 空分多址 SDMA 的应用

为进一步提高频谱利用率和系统容量，可考虑使用窄波束天线系统来实现 SDMA，开发一种智能波束控制法，使基站或卫星天线快速指向通信中的移动站。当然，相应的多址协议也必须适应 SDMA。目前，ACTS 计划中的 TRUNAMI 正在进行这项研究。这类技术实际上是天线分集与接收机中自适应信号处理的结合，通过对波束形成网络的自适应控制和处理来完成空分多址 SDMA 接收，在利

用多径传播提高传输性能、改进系统容量、支持高速数据传输等方面这种技术都具有很好的前景。

(2) 差错控制方案的设计

与光纤传输相比,无线信道的时变性和多径传播特点使传输可靠性大为降低,在无线传输中经常会出现连续的、突发的传输错误,这就需要设计用于无线传输的数据链路控制机制。如果采用自动请求重传(ARQ)协议,则有些业务需要设计新的具有时间约束的重发控制规程。前向差错控制方法一般被认为是一种有效提高传输可靠性的方法。在无线 ATM 中,信元的差错控制方案应该在保证其可靠传输的同时提高其传输的有效性,标准 ATM 信元中的差错控制方法(HEC)应予修改,因为一方面它只对信头做了保护,未保护信息部分,另一方面它是针对随机错误设计的,无法适应突发错误的环境。如何设计无线传输时的差错控制方案是一个重要课题。除了考虑选择一些对突发错误有效的编码方案外(如 RS 码等),采用交织技术也是不可少的。

(3) 多址协议的效率

在宽带无线接入网中,传输速率大为提高,持续时间短、具有突发特性的业务将占主导地位,因此有效地控制无线终端使其合理占用有限的网络资源是一个重要课题。在目前的无线局域网(包括 IEEE802.11 和 HIPERLAN 等)中,媒体访问控制主要是以 CSMA/CA 协议为基础的。因为无线信道动态范围可能较大,在有效带宽采用碰撞检测方式是很困难的,只能采取随机退避方式以减小两帧碰撞的概率。在无线 ATM 网络的研究中,媒体访问控制一直是一个热点课题,其目标是在支持 ATM 标准中所定义的业务类型(可用比特率(ABR)、可变比特率(VBR)、恒定比特率(CBR)以及未指定比特率(UBR)业务)的同时,保持高效的无线信道利用率,并提供相应的 QoS 控制。目前已经提出了许多实现方案,这些方案在无线资源动态分配、实时与非实时业务处理等方面都取得了一定的成果。用于无线 ATM 网络媒体访问控制的有关技术包括分组预约多址(PRMA)及其扩展、动态 TDMA/TDD 和 CDMA 等。另外在点到多点无线网结构中,TDMA 方式所采用无线资源管理的动态信道分配(DCA)也是一个重要的研究课题。

(4) 无线终端的移动性支持

终端移动性是指处于网络有效覆盖范围内的无线终端在移动中保持通信的能力,其主要功能包括无线终端的位置管理、连接建立及切换漫游。对移动性的支持有两种策略,首先是保持现有 ATM 标准 UNI 信令协议不变,专门开发针对无线接入网的移动性支持协议,这样的优势在于无需修改 ATM 信令协议,但由于两者的协议间可能存在某些重叠,导致网络资源的浪费。另一种策略是修改已有的 ATM UNI 信令协议,使之支持终端移动。这种策略的优缺点与第一种恰好相反,两种策略各有利弊,并都在研究中。

(5) 软件无线电

这是智能多模式终端技术的进一步发展，是无线系统数字化的新阶段。把硬件作为无线通信的基本平台，而把尽可能多的无线通信功能用软件来实现。通过注入不同的软件，形成不同标准的移动终端和基站，从而将能保证各种陆地移动业务和卫星移动业务的无缝集成。

(6) 高数据速率的问题

在无线移动环境中，高速率数据传输面临的最严重的困难之一就是多径衰落的影响，在基于 TDMA 方式的传输和接收中，自适应均衡是克服多径影响的有效手段，但当传输速率很高时，需要的均衡器抽头数大为增加，不仅实现变得复杂，而且难以满足较短的数据包快速启动的要求。解决这一问题一方面需要改进均衡器的设计，另一方面可以将自适应均衡与自适应调制相结合。所谓自适应调制是指当无线终端发出传输请求时，接入点根据申请业务条件、平均载干比、延时要求以及信道即时状况为终端分配相应的载波、时隙、调制方案和符号速率。QPSK 和 QAM 是宽带无线接入网中无线传输的候选调制方式，若使其调制参数随信道状况、移动终端位置等情况自适应调整将会得到更好的性能。

根据无线信道的实际情况，可选择使用 4QAM 或 16QAM 或 64QAM 的自适应调制技术，这种自适应可编程调制的快速算法目前正在研究之中。另外，OFDM 技术也在研究应用中，它的优点是抗多径传播能力较强、频谱利用率较高，缺点是设备复杂、信号处理时间较长、发射功率较大对非线性极其敏感（需要线性大功率微波放大器）等。如何克服这些缺点，使 OFDM 满足高速移动通信的要求是当前正在研究的一个热点。

第三章 多址接入协议简介

§ 3.1 引言

信道接入和多用户间共享信道的方法是无线网络中获得高效的运行和良好性能的基本条件。无线网络中的用户很少需要长时间接入一个信道，因此需要提供一个多用户接入的方案，简称多址接入，使用户有序地接入网络的频率和时间资源，并且使传输开销最小和网络容量达到最大。根据对信道资源的不同分配方式，多址接入协议可大致分为三大类：

(1) 固定分配多址 FAMA 如 FDMA、TDMA 等。FAMA 为每个连接或每次通信固定地分配确定的信道，对于用户数比较少通信业务量较稳定的网络，这种方式可以提供可靠的服务质量，又有着很高的信道利用率，在以话音为主要业务的系统中得到了很好的应用。然而当用户的业务是突发性较强的数据业务时，每个用户要花费许多时间用于预约，这种方式效率很低，会造成信道资源的浪费。因此，对于突发性业务来说，固定分配多址并不是一种理想的方式。

(2) 随机访问多址 RAMA 如 ALOHA、CSMA 等。RAMA 允许终端随机发送信息，如果不同终端发送的信息发生了碰撞，碰撞的信息则按一定规则延迟一段时间后重新发送直至成功。这种方式适用于网络由大量用户组成，而这些用户又只是间歇性地工作。但对于时间敏感性业务，则难以直接应用。

(3) 按需分配多址 DAMA 如预约类等。DAMA 根据终端提出的带宽要求及时地对无线信道资源作出分配。与固定分配多址相比，这类多址对突发性业务有很好的适应性，当传输进入空闲状态时，其所占的资源分配给其它用户或连接，使相应资源不必浪费。与随机访问多址相比，按需分配多址避免了信息多次碰撞时延迟发送所带来的延时不定或延时太大等问题。故而这种方式适用于通信业务量随机变化且这种变化又难以预测的情况，但需要一个专用的信道供所有用户以固定分配或随机接入方式提出呼叫申请。

根据使用的双工方式又可将多址接入协议分为基于 TDD 和 FDD 两大类。基于 FDD 的有 DQRUMA、PRMA/DA、DSA++、DTDMA/PR 等。基于 TDD 的有 MASCARA、PRMA/ATDD、DTDMA/TDD 等。采用 TDD 适用于频谱资源较为紧缺的地方，可以节约部分收/发器硬件，同时可采用不对称的上下链路带宽，缺点是附加延时较大。一般说来由于 TDD 方式在灵活安排数据业务特别是不对称数据业务及有利于进行灵活的频率规划等方面有其长处，而 FDD 则对话音及包括宽带多媒体在内的综合业务发展与蜂窝网络结构易于对称处理及有利于控制收发干扰及实施高速移动运行等方面有其优越性，从其频谱占有及未来汇流的对

称性综合业务传送来看通常被认为是一种主流技术。

在实际的无线通信环境下,影响多址接入协议性能的因素很多,例如隐藏终端问题、信道衰落的影响、捕获效应等等。有关多址接入的几个重要性能指标:

1. 吞吐量(S) 单位时间在信道上成功传输的信息量。假设帧长固定,长度为 L 比特,且单位时间(秒)内成功传输的帧数为 n ,则吞吐量可表示为 nL bps(比特/秒)。通常,用信道传输速率 R (bps)对吞吐量归一化,归一化后的吞吐量用 S 表示为

$$S=n \cdot L/R=nT \quad (3-1)$$

这里 $T=L/R$ 为每帧在信道上的发送时间。

2. 总业务量 (G) 信道上所有终端在单位时间内要求传输的帧的信息量。显然总业务量为单位时间内新产生帧的信息量与重传帧的信息量之和。常用信道传输速率对总业务量归一化,用 G 表示。
3. 平均传输时延(D) 某一帧从进入缓冲器的时刻开始,至成功到达目的地接收缓冲器的时刻为止的一段时间,称为该帧的传输延迟。通常用一帧的传输时间对平均传输时延归一化。
4. 分组丢失率 被丢弃的分组数目与产生的总的分组数目之比。分组被丢弃有三种原因:超过分组生存时间;无线信道的高的误码比特率;用户移动而切换所产生的分组丢弃。

§ 3.2 主要的多址接入协议

在此,我们将分别研究随机访问多址和按需分配多址。

一. 随机访问多址

①纯 ALOHA 协议是在 1970 年由夏威夷大学的 N.Abramson 提出的。在该协议中,当节点处于非发射状态且有包要发送时,节点就立即发送,而不管网络的状态如何。如果节点已发送一个包,而在一定的时间区间,没有收到目的节点的应答,则该节点认为包已经发生碰撞,必须重发。为了避免连续的重复碰撞,该包经随机延时后重发。纯 ALOHA 实现简单,可采用变长信息包,特别适用于具有大量间歇性工作的发射机的网络。但当许多发射机同时工作时会导致系统的不稳定,这可通过设计适当的重传方式或将系统转入非随机接入状态加以解决,但协议会失去其简单性。

②时隙 ALOHA 协议是纯 ALOHA 协议的一种改进形式。它假定全网同步工作,用户只允许在每个时隙的起始点按纯 ALOHA 方式发送,最大吞吐量可达 0.368。由于网络中的全部发射机只能同步发射信号,实现的复杂性也随之增大。

③扩展 ALOHA 将普通的 ALOHA 信号既在时间上又在频率上加以扩展产

生,形式上等效于扩频 CDMA 信号,但只需一个扩展序列,不必象 CDMA 那样为每个用户分配一个不同的扩频码。为了取得高的 ALOHA 信道效率,信道占用率和 S/N 必须很小,而为了取得很高的最大数据率,带宽 W 就必须取得很大即需进行频谱扩展。另一方面若信噪比低,接收信号的可靠性也就低,但根据香农公式,在带宽和传输速率给定的情况下,小的信噪比可通过增加传输时间来补偿。因此对信息包在时间上加以扩展既能减少所需的发射机峰值功率,又能保证接收机检测所需的比特能量。

④CSMA(载波侦听多址)协议要求每个终端能检测它周围的邻节点是否在进行传输,或者说检测信道中的载波是否存在。这类多址大大降低了信道的冲突,从而使信道的吞吐量大大增加。这类多址方式要求传播时延与分组的传输时间相比要小得多,这样一个终端发出的信号才能很快地被其它节点检测,且避免与其碰撞。反过来说,如果传输时延较长,一个终端检测到的信道情况也就不是当时信道的真实情况,这样对减少冲突并没有什么好处。在考虑隐藏终端的情况后,CSMA 的性能将大大降低。在单一中心站的情况下,把可用的信道分成两个信道,即一个忙音信道和一个信息信道,这样就可以消除隐藏终端的影响。

二. 按需分配多址

在按需分配多址中,又以动态 TDMA 方式被研究得最多。其一般的原理如下:

首先无线终端通过竞争预约来申请接入信道,然后由接入点来为其分配相应的带宽。实际上,各个移动终端对带宽的需求很可能不一样,对实时性的要求也不尽相同,接入点就必须根据某些参数如实时性、优先级别等来为各个移动终端或各个连接来安排相应的时隙(大小或数目),这需要一个预定算法。预定算法的原则是优先考虑安排实时业务的传输,对于非实时的各种业务也应该设置不同的优先级加以区别对待,在满足业务传输要求的情况下尽可能地提高传输效率。预定算法是该类多址方式的核心和关键,对整个协议的性能有较大的影响。

①PRMA(分组预约多址)用时隙 ALOHA 方式进行时隙的竞争预约,用 TDMA 方式进行数据的传输。其协议内容是将时间轴分成为时隙,若干个时隙组成一帧。每一帧中的时隙分为两类:一类是被预约的时隙,另一类是可用时隙(指空闲时隙)。时隙类别是根据在时隙末尾接收到的基站的应答信息来确定的。每个移动台在话音突发开始时,采用 ALOHA 方式来竞争可用的时隙。若该移动台竞争成功,则它就预定了后续帧中相同的时隙。在后续帧中,它将不会与其它移动台的分组发生碰撞。当一个话音突发传输结束后,该移动台将释放预约的时隙,使该时隙从预约状态变成可用状态。由于利用了通信过程中的空闲时间,从而改进了 TDMA 的带宽利用率,提高了传输效率,与其他按需分配协议相比实现简单。但是 PRMA 没有利用微时隙作为访问竞争,接入延时也不确定,无法用于综合业务

的传输。

在此基础上的一些改进主要集中在如何提高数据与话音综合传输效率，并未对接入延时作出限定和规范。

②DQRUMA（分布式排队请求更新多址）没有帧结构，基于时分及 FDD 的工作方式，采用每一个时隙都传送一个分组，每一分组都包含信令和数据两个字段，不区分新呼叫和由空闲转入传输的业务。上行信道分为传输接入请求的随机接入信道，传输附加请求的无竞争信道和传输分组信道。下行信道分为传输接入请求应答信道、传输 b-比特分组发送允许的信道和传输分组的信道。由于信令采用捎带方式同时采用微时隙作为访问竞争，信道利用率较高。但是在 DQRUMA 中，本地新呼叫请求、空闲状态恢复传输的各种业务以相同的优先级在请求接入时隙中竞争预约。所以对由空闲转入传输的业务可能产生接入延时，同时从 ACK 到传输允许 P 之间的同步也是一个问题，会使传输延时不定。

③D-TDMA 采用固定帧结构，但子帧边界可变（请求帧，话音帧，数据帧）。每个要求接入的移动终端随机选择请求帧中的一个请求时隙，若碰撞发生，对于话音用户在下个帧中进行重传，对于数据用户则随机延长一段时间进行重传。其优点是信道利用率高，访问竞争采用 S-ALOHA 和微时隙。

④MDR-TDMA（多业务动态预约时分多址）对 CBR 用 TDMA，对 VBR、ABR 业务用动态预约分配方式，通过时隙 ALOHA 随机接入竞争预约，其不足是可能引入一定的接入延时。

⑤MASCARA（ATM 中基于竞争和预约方式的移动接入方案）上下时段可变，无线终端通过竞争预约接入信道，接入点在帧头以广播方式通知各终端预约的结果和带宽的分配情况，通过优先权安排算法和可变帧长来提供多种业务，同时竞争期足够长来保持一个合理的成功接入速率。

⑥DSA++（动态时隙分配）的基本思想是把几个移动站和一个中心基站组成的小区当作分布的排队系统来处理。中心 MAC 调度在基站控制器内根据测量得的短期容量需求和 VCC 规定的 QoS 参数，并服从“虚时钟”（Virtual clock）或“时延最早到期”（Delay Earliest-due-date）或“时延抖动最早到期”（Jitter Earliest-due-date）的服务策略，来决定每个 VC 的优先权，而下一个时隙就分配给优先权最高的 VC。基站报告上一个上行链路时隙的状态（空闲、成功、碰撞），并在每一个下行时隙为下一个（或多个）上行时隙预约报文。所以上行链路的时隙有两种：预约时隙和竞争时隙。预约时隙只预约给某规定的排队 VC，移动站在每个上行传输的信元中增加了一个后续传输请求的短报文，以申请进一步的时隙预约；而竞争时隙可由每个排队的 VC 遵照分时隙 ALOHA 协议随机接入，特别是新呼叫信元则只能在规定的竞争时隙上传送。

§ 3.3 技术切入点

如今的多址接入协议研究已经取得了重大的进展，多址接入协议的种类丰富，各有各的特色。一般的研究主要从以下几个方面进行。

(1) 接入延时

一般情况下，按需分配方式在信道利用率方面优于固定分配多址和随机访问多址。但按需分配方式反复频繁地进行带宽分配，这除了需要占用一定的带宽资源外（比如请求接入和应答信息分组的传输），还可能引入接入延时。很显然，并非每一个无线终端或连接都能在允许接入时段竞争接入成功，有些只能在下一个帧的允许接入时段继续竞争接入。这种由竞争接入引起的延时对重传机制（比如 ARQ）的使用极为不利。另一方面，在数据传输时段里，也并非每个数据分组都能及时得到传输，因为对于某些突发性业务，当其处于空闲期时，为了提高传输效率通常会释放其对带宽的占用，一旦其返回传输状态，其数据分组很可能难以及时地在数据传输时段，从而造成数据分组接入延时，这种延时会影响终端的数据队列长度设置，也会使 QoS 的延时性能得不到保证。

目前所报道的宽带多址协议大都存在接入延时的问题，一般而言，这一问题的解决需要将新接入请求和由空闲态返回传输时的请求加以区别，分别处理。另一种解决问题的方法是改进信道的统计复用机制，如采用改进的 CDMA 方式。

(2) 切换处理

当无线终端在通信过程中移动越过两个或多个小区边界时，为了保证通信的连续性，需要进行切换处理。一方面终端要放弃与原接入点建立的链路在新的接入点重新竞争申请新的链路连接，另一方面网络也需要重新进行路由选择，以避免可能的链路回环。由于切换前后无线信道环境的差异，有关 QoS 的条款需要重新谈判和建立，再加上切换的接入申请未必能及时地得到接纳，有可能造成数据分组丢失，延时增加。因此多址接入协议在切换的处理过程中起着关键和重要的作用。

考虑到拒绝一个切换连接的接入比拒绝一个本地新的接入请求更难以让用户接受，在协议的设计中应对这两种请求分出不同的优先接入等级以区别对待。另外无线终端的移动速度和切换速度也是协议需要考虑的重要因素，因为切换可能因此受到阻塞。一个接入点覆盖小区可能需要进行大量频繁的切换处理，所以多址接入协议在切换速度和可靠性方面应予以保证。

(3) 接纳控制

接纳控制是网络协议栈中更为高层的功能，由于它的目标是在保证 QoS 要求的条件下，尽可能多地接纳接入请求，因此它要求多址协议能最有效地统计分配无线带宽资源。接纳控制的最优策略只能是本地新接入请求和切换请求间的一种

折衷,使两种请求都能得到最大程度的满足而不浪费资源。如果接纳更多的本地接入请求,切换请求就可能由于没有可用带宽资源而遭拒绝,如果网络预留较多资源给切换请求,就可能出现在尚有网络资源的情况下拒绝本地新接入请求造成不必要的浪费。多址接入协议将为接纳控制提供链路层服务,其相应的预定算法设计、带宽分配速度对接纳控制策略的实现起着核心的作用。

(4)节约电池能源:

由于移动终端通常用电池来供电,仅有有限的电能。因此要求移动终端要有尽可能高效的电能利用率。这需要在协议栈的各个层次来合理设计以达到节约电能消耗。就多址协议的设计来说,主要的电能消耗是移动终端的 CPU、发射器和接收器。通过将一些比较复杂的计算转给网络中的固定点如基站就可以减轻 CPU 的运算量达到节能的目的。移动终端具有三种操作方式:待机、发射和接收。一般说来发射模式消耗电能最大,其次为接收模式,待机模式消耗最少。同时发射和接收模式之间的转换通常需要 6 至 30 微秒。高的比特率将由于较高的均衡复杂性而消耗较多的电能。一般应该从以下几点来考虑:

①尽可能地消除碰撞(因为碰撞会导致重传,从而产生不必要的能耗,并且可能伴随较大的延时)。由于移动用户的移动性和无线链路的不可靠性,重传是不能完全避免的。比如当有许多移动终端以随机竞争方式请求接入时将会有碰撞的产生。但是我们可以采用一个相对小的分组来进行预约带宽从而减少电能的消耗。

②在一个典型的无线广播环境下,移动终端必须总是处于接收状态接收所有的分组从而导致较大的电能消耗。一种可能的解决办法是广播一个数据传输安排给各个移动终端,各个移动终端可以转换到待机模式直到分配给它的时隙的到来时才处于接收状态。

③由于发射和接收模式之间的转换时间需要 6 至 30 微秒,这种转换将明显消耗电能同时也将影响协议的性能。因此为了减少这种转换的次数,应该尽可能地允许分配连续的时隙给移动终端来传输和接收分组。

④就单纯从省电效果来说,中心式的预定算法比分布式算法更有效。因为分布式算法需要每个移动终端独立的计算得出结果,这将消耗电能。同时由于无线链路的不可靠性移动终端可能没有收到所有的预约要求。

在现有的多址协议中也推荐采取了一些省电的措施。在 IEEE802.11 标准中,推荐了一种节约能耗的技术:移动终端通知基站将自己处于休眠模式,基站缓存送往该移动终端的分组,移动终端被唤醒后将继续接收和发送分组。这种方法虽然节约了能耗但很可能引入了额外的分组时延将进一步影响服务质量 QoS。

在 HiperLAN/2 中,移动终端节省功耗的机制是基于移动终端启动的休眠期状态。移动终端可以在任意时刻向接入点请求进入一种低功率休眠状态,而且可

以确定这一状态的时间。当协商好的休眠期满时,移动终端搜索是否有接入点发出的唤醒指示。如果没有搜索到唤醒指示,移动终端将重新转换到低功率状态进入下一个休眠期。在休眠期间,接入点将延迟所有等待的数据传输任务,直到移动终端结束相应的休眠期为止。HiperLAN/2 支持不同的休眠时间,这样可以满足用户对短延迟或低功率等不同的需求。

(5)综合业务支持

未来的通信将包括音频、视频、数据和图象等业务,因此多址接入协议也必将被设计来支持多种业务的综合传输。由于综合业务中的各个业务的特性不一样,适合于各个业务的多址协议也不一样,因此支持综合业务传输的多址接入协议必将是各种多址协议的有机综合。一般这类协议将帧分为传输实时业务和非实时业务两部分,对实时业务的传输大都采用 TDMA 的方式以保证其分组的传输不致发生碰撞,对非实时业务的传输则采用随机竞争方式。实时业务分组虽然是无碰撞传输的,但接入时延却不低,不能支持快速的接入。在实际应用中可考虑采用动态 TDMA 方式和微时隙的方法来提高信道的利用率。同时考虑允许一次连续传输多个分组。

(6)无线信道的特性

许多多址接入协议的设计是基于理想的无差错的无线信道。在实际的无线信道情况下,由于用户移动和衰落的影响,信道是突发时变出错的和难以事先估计的。如若能有效的利用这一点来恰当地安排选择信道和分组的传输,则可以提高信道的利用率。通过监测信道的状态,推迟处于差错信道的分组的传输来避免不必要的重传。同时,在多信道的情况下,信道的差错是相互独立的,某一信道当前不可用,可以采用另外的信道。

由于受噪声、信道衰落或障碍物的影响,同一网络中的两个站点长时间或在某段时间内相互不能收到对方发送的信息,这两站互为隐藏终端。网络的吞吐量会因隐藏终端的存在而大大下降,其根本原因是数据碰撞增多造成大量时间的浪费,尤其是数据帧较长的时候。因此可以通过减少或避免数据帧的碰撞和减小碰撞持续的时间来提高吞吐量。解决的办法是在数据帧发送之前源站和目标站之间先进行 RTS/CTS 短帧交换。使用这个功能时,发射站发送一个 RTS,并且等待接入点使用 CTS 进行应答。由于网络中所有端站都能够监测到接入点的活动,CTS 将会暂时延迟其他端站的传输,这样,发射站就可以收发包应答,而不会出现产生任何碰撞的机会。由于 RTS/CTS 在使用的同时也增加了网络的负担,所以它一般只在较大的数据包中使用。

多个站点同时发送数据到达某一个站点时将产生碰撞,但若其中一站点的到达功率按一定的条件较其它站点的到达功率都大时,接收站点仍将有可能成功接收到功率较大的信号,这就是捕获效应。当信道有干扰存在或有捕获效应时,

此时观测到的碰撞时隙不是真正碰撞，如能有效地利用捕获效应则可以改善多址接入协议的性能。

(7) 公平性

在无线频率资源无法满足当前所有用户的要求时，对各个用户该如何取舍必须确保公平性，这主要表现在接入、切换和接入后提供服务方面的算法。

在资源拍卖多址接入协议 RAMA 中赋予每个用户一个固定的 ID 号，根据此 ID 号来满足接入，ID 号最大的就接入成功，这对于被分配了小 ID 号的用户将是不公平的。一种解决的办法是让每个申请接入的用户产生一个随机数，通过比较随机数来决定接入的用户。

在允许一个移动终端一次连续传输多个分组时，必须考虑如何保证其它移动终端的时间敏感性分组得以及时地发送。一般高优先级的用户将优先得到服务，因此必须动态地依据用户的业务类型来赋予优先级。

第四章 计算机仿真及建模方法

仿真在现代通信网络的规划研究设计中具有重要的作用。本章介绍仿真所需的一些基本知识和常用方法。

§ 4.1 离散事件仿真

在本文仿真中,分组的到达及离开都是离散事件,故而我们采用离散事件系统仿真。众所周知,通信系统都是并行工作,而计算机运算则是串行运算,计算机仿真就是利用计算机的串行运算来模拟再现通信系统的并行工作。离散事件仿真就是按照实际的工作流程,在规定的时间内顺序改变实体或设备的状态变化到另一种状态的过程。所谓工作流程是指实体在整个仿真过程中活动的顺序。每发生一个事件,系统的状态就发生一次变化。在实际活动中,时间的发生不是连续的,发生时间的间隔也不相等,而是具有某种随机性。

一般描述离散事件系统的模型不是一组数学表达式,而是一幅表示数量关系与逻辑关系的流程图。离散事件的算法体现在其建模框架和仿真策略中。在离散事件仿真中有三类基本仿真策略:

- 事件调度法

按这种方法建立模型时,所有事件均放在时间表中,模型中设置一个时间控制成分,该成分从事件表中选择具有最早发生时间的事件,并将仿真时钟修改到该事件发生的时间,在调用与该事件相应的时间处理模块,该事件处理完后返回时间控制成分。这样,事件的选择与处理不断地进行,直至仿真终止的条件产生为止。

- 活动扫描法

在此方法中,系统由部件组成,而部件包含着运动,这些运动的发生应满足规定事件发生的条件,如果条件满足,则激活该成分的活动例程。仿真过程中,活动发生的条件也作为条件之一,而且较之其它条件具有更高的优先权。即在判断激活条件是首先判断该活动发生的时间是否满足,然后判断其它条件,对活动的扫描循环进行,直到仿真终止。

- 进程交互法

这种方法的特点是系统仿真时钟的控制程序采用两张时间表,其一是当前事件表,它包含了从当前事件点开始有资格执行的事件记录,但是该事件是否发生的条件尚未判断。其二是将来事件表,它包含在将来某个仿真时刻发生的事件记录。每一个事件记录中包含该时间的若干属性,其中必有一个属性,说明该事件

在过程中所处位置的指针。进程交互法首先按一定的分布产生到达实体并置于将来事件表中，实体进入排队等待，然后对当前事件表进行扫描，判断各种条件是否满足，在对满足条件的活动进行处理后，仿真时钟推进到服务结束并将该实体从系统中清除，最后将将来事件表中为当前事件的实体移到当前事件表中。

§ 4.2 业务源建模

随着通信技术的发展，现代通信网络所能支持的业务的种类将越来越丰富。各类业务的特性不一样，所采用的模型也将有区别。

1. 泊松源模型

分组的到达服从泊松分布。传统的描述数据源业务经常采用此种方法。

2. ON/OFF 源模型

ON/OFF 源模型用来为各种业务源建立模型，是现代业务源建模较常用的一种方法。如图 4-1，ON/OFF 源具有两个状态：ON 态和 OFF 态。当源处于 ON 态时，它以峰值速率周期的产生分组。当源处于 OFF 态时则不产生分组。

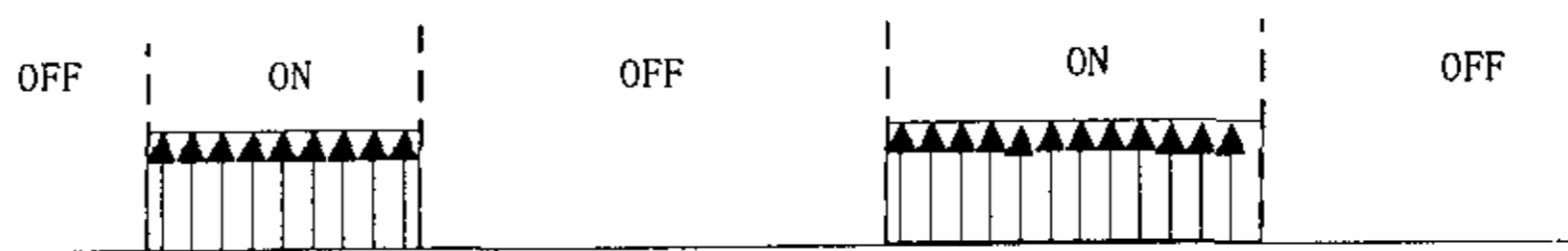


图 4-1 ON/OFF 源模型

ON/OFF 模型基本上可由两个主要参数来控制：ON/OFF 周期的分布和在 ON 期间分组到达的概率分布。

① 指数分布的 ON/OFF 源模型

ON/OFF 周期服从指数分布。采用话音激活技术的话音源模型经常采用此种方法。在突发 ON 期间，话音源以峰值速率周期性的产生话音分组，而在静默 OFF 期间则不产生分组。

② 重尾分布的 ON/OFF 源模型

ON/OFF 周期服从重尾分布（如 Weibull、Pareto 等）。区别于泊松和指数分布的 ON/OFF 源模型的特点是具有无限的方差。未来通信区别于传统通信的一点是突发数据业务将占据越来越重的比例。现代越来越多的研究表明突发数据业务具有自相似性和长时相关性，这是传统的泊松源所不能表述的。用指数分布的 ON/OFF 源来建模也不够准确，而用具有重尾分布的 ON/OFF 源则能比较恰当的描述业务源的特性。通过叠加大量的具有重尾分布的 ON/OFF 源就能使业务呈现出自相似性。

a. Pareto 分布的 ON/OFF 源

Pareto 分布具有多种形式, 其中之一为如下所示,

$$\Pr[T > t] = 1 - F(t) = \beta^\alpha / (\beta + t)^\alpha \quad (4-1)$$

其中 $\alpha, \beta > 0$, 均值为 $\beta / (\alpha - 1)$ 。 α 描述 Pareto 分布的重尾特性。一般说来, α 越接近于 1, 所表示的源的突发性越强。一旦选定了一个适合的 α 值来描述业务源的特征, 可以通过均值来确定 β 的值。

b. Weibull 分布的 ON/OFF 源

Weibull 分布的概率密度函数如下式所示,

$$P(t) = \frac{\alpha}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\alpha} \quad (4-2)$$

其中 $\alpha > 0, \theta > 0$ 分别称为形状和尺度参数。当 $\alpha = 1$ 时, Weibull 分布就变成指数分布, 当 $\alpha > 1$ 时 Weibull 分布为轻尾分布。当 $\alpha < 1$ 时 Weibull 分布为重尾分布, 此时 α 的值越小, Weibull 分布的重尾特性越明显, 相应地所表示的业务突发性越强。

§ 4.3 无线差错信道建模

在基于光纤的有线网络中, 差错是极少的、随机的。而在无线信道中差错则是突发的。首先由于用户的移动性使得接收的信号强度将会随时间的推移而变化, 此外由于衰落、阴影效应也会恶化信道的性能。考虑到实际无线信道中信道衰落、信号能量、传播距离、分组大小、终端的移动等因素, 指数分布的差错规律不能完全准确的反应实际无线信道的特点, 尤其是衰落、障碍和移动等带来的突发差错特性。用有限维的马尔可夫链模型可方便的建立无线信道的差错模型。为简化起见, 可用两维马尔可夫模型来建模, 如图 4-2, 无线信道交替地处于无错态(G)和出错态(B)。

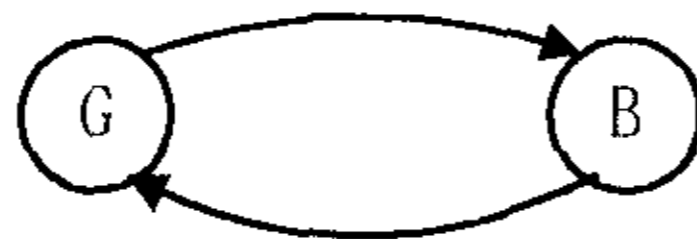


图 4-2 无线信道差错模型

无错态和出错态下传送的分组发生差错的概率分别为 P^G 和 P^B 。假设无错态和出错态的分布都为指数分布, 周期分别为 g 和 b 。则分组出错的概率 e 为

$$e = \frac{bP^B + gP^G}{g + b} \quad (4-3)$$

§ 4.4 随机数及随机变量的产生

在离散事件仿真中，一个很重要的问题是随机数的产生。随机数产生的好坏直接影响到仿真结果的可信度。一般说来应该满足如下几点要求：①具有交好的随机性与均匀性；②产生伪随机数的速度要快；③程序尽量少占用内存单元；④一批伪随机数的周期尽可能长。

一. 均匀分布的随机数的产生

采用线性同余法产生均匀分布的随机数，其递推关系式如式所示

$$x_{n+1} = (ax_n + c) \pmod{m} \quad n \geq 0 \quad (4-4)$$

其中， x_n 是第 n 个随机数； \pmod{m} 是模 m 运算；初始值 x_0 称为种子； a 、 c 为常数， a 称为乘子， c 称为增量。

一般取 $m=2k$ ，其中 k 为计算机中数字尾部的字长。为了得到周期为 m 的随机序列，参数 a 、 x_0 和 c 应满足以下条件：

$$\begin{cases} a = 4t + 1, \text{其中 } t \text{ 为任意选定的正整数} \\ c \text{ 为奇数} \\ x_0 \text{ 为任意非负整数} \end{cases}$$

二. 从任意一个概率分布函数产生随机数

对于反函数能用闭式表示的可以用“反变换法”产生所需的随机变量。设已有 $[0, 1]$ 区间上均匀分布的随机数 R ，需要产生分布函数为 $f(x)$ 的随机变量，则产生的反变换的公式为 $f(x) = R$ ，即

$$x = f^{-1}(R) \quad (4-5)$$

1. 负指数分布的随机变量

参数为 λ 的负指数分布的分布函数为：

$$f(x) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x}, & x > 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (4-6)$$

则其反函数为

$$x = f^{-1}(R) = -\frac{1}{\lambda} \ln(1 - R) \quad (4-7)$$

由于 R 与 $1-R$ 的分布相同，所以上式可以写为

$$x = -\frac{1}{\lambda} \ln(R) \quad (4-8)$$

2. Weibull 分布的随机变量

Weibull 分布函数为

$$f(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\theta}\right)^k} \quad (4-9)$$

其反函数为

$$x = \theta \cdot [-\ln(1 - R)]^{1/k} \quad (4-10)$$

考虑到 $1-R$ 仍为 $[0, 1]$ 均匀分布随机变量，故而有

$$x = \theta \cdot (-\ln R)^{1/k} \quad (4-11)$$

第五章 UPMA 协议性能仿真

无线 Internet 接入已经引起了广泛的关注。在 2.4GHz 到 5GHz (U-NII 波段) 的种种传输规范已经被用来提供数据速率在 1-23Mbps 的无线 Internet 接入。这些规范包括 IEEE802.11 (标准和高数据率版本)、Bluetooth、Home RF、HIPERLAN 1。包括 DSA++ 和 DQRUMA 在内的大多数多址接入协议是基于带冲突分解的随机多址接入技术。随机多址接入协议克服了固定分配多址接入协议中的资源浪费问题。但随机多址接入协议又产生了另一个问题, 即在用户数增加时, 分组碰撞的概率加大, 从而导致平均分组时延的加大, 进而影响网络的通过量。然而, 如果知道用户数, 就能避免碰撞完善地安排分组的传输。根据用户数目完善安排数据分组传输的多址接入 (UPMA—User-dependent Perfect-scheduling Multiple Access) 协议根据网络中的活动用户数、分组队列长度和循环服务规则来安排分组的传输。UPMA 利用自组织算法决定活动用户数, 以动态 TDMA 的方式来为各个用户安排所需时隙, 采用微时隙为空闲状态的用户保持一个连接。本章首先介绍自组织算法, 然后依次介绍了 UPMA 三种模式及其性能仿真。

§ 5.1 自组织算法

如图 5-1 所示, 一个节点有三种状态: 激活, 空闲和非激活。当一个节点有分组要传输时就处于激活态。当一个节点完成了队列中所有的分组传输并在等待一个新的分组就处于空闲态。当一个节点处于空闲态已有了一预定的时间段 T_{idle} 就进入非激活态。

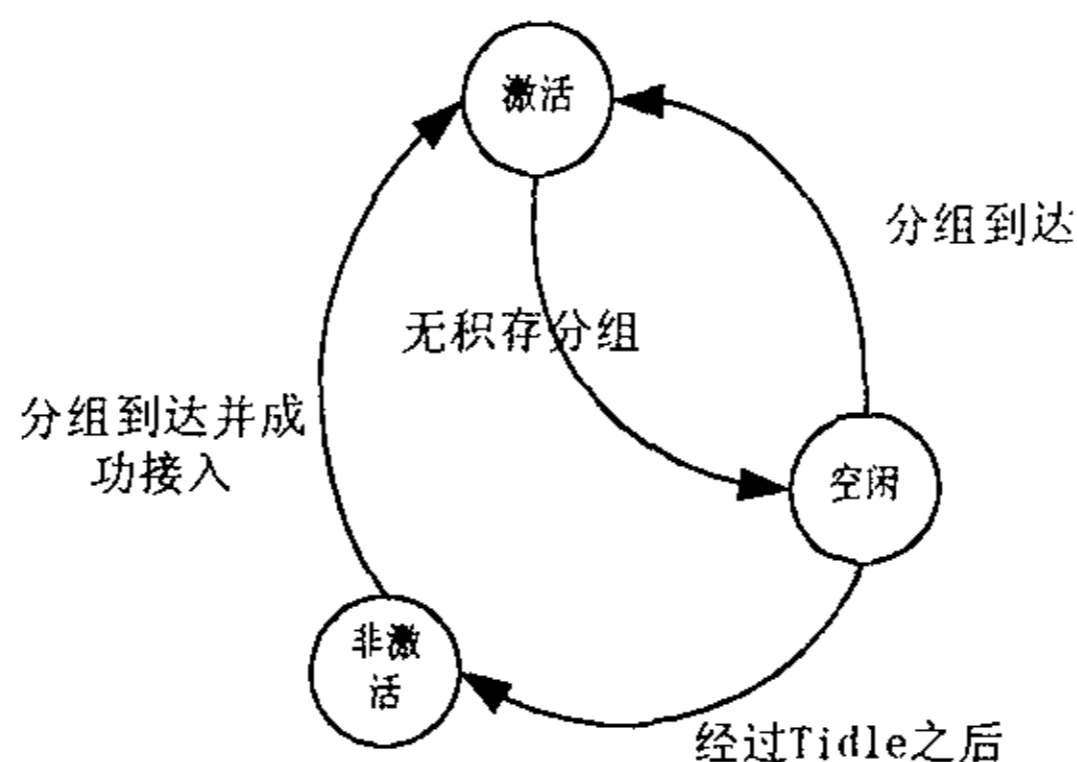


图 5-1 节点状态转换

为收集网络中有多少节点的信息, 每个处于激活或空闲状态的节点定期地广播一个自组织包 (SOP) 来通告它的状态 (激活或空闲) 和它所知道的节点。SOP 包括发送节点 ID 和它所知道的其它节点 ID。每个节点有三张表: 路由表 (RT), 距

离表 (DT) 和状态表 (ST)。RT 储存它所知道的节点 ID。DT 储存邻节点传送过来的 SOP 中的 RT。通过比较 RT 和 DT, 就可发现新的节点。ST 储存节点处于激活或空闲状态的时间。如果一个节点在一个预定的时间段 $T_{nonactive}$ 内没收到某一节点 (B) 的任何信息, 它就从 DT 中删除 B 并在 SOP 中通告 B 处于非激活状态。在互换 SOP 和修正自身 RT 后, 在短时间内每个节点就有了正确的 RT, 包括节点 ID 和处于激活或空闲状态的节点数目。

在我们的系统中, 分组分为数据分组和自组织包这两种类型。它们有着相同的分组格式, 通过在分组头中的一个字节加以区分。数据分组中的分组数据只由分组头中指定的节点加以处理, 其它节点如果接收到该分组, 只处理分组头, 从中获得路由信息; 自组织包的分组头则没有指明是哪个节点接收, 所有收到该分组的节点都将处理其中的自组织数据, 以获得网络拓扑信息。一个节点发送自组织包的条件是: 1) 它没有任何分组需要发送, 且距离上次发送的时间间隔已经达到一定值, 这个值我们称作自组织周期; 2) 它探测出了网络拓扑的变化, 且当前时间距离首次发现拓扑变化的时间已经达到半个自组织周期。这一条件是为了避免网络拓扑频繁变化且对数据传输没有构成致命影响时组网开销过大, 影响分组的传输。

路由表共有八列, 形成如图 5-2 的表格样式。其中, J 表示目的节点, I 表示本节点。路由表用来记录节点 I 到网内其它节点 J 的路由。

目的节点 J	从 I 到 J 的跳数	从 J 到 I 的跳数	到 J 的下一跳	从 J 到 I 的前一跳	发送速率	是否带有数据终端	I 与 J 的路由变化标志
--------	-------------	-------------	----------	--------------	------	----------	---------------

图 5-2 路由表格式

我们用单向链表来实现路由表, 图 5-3 给出了一个有 3 个节点路由信息的节点的路由表数据结构示意图。

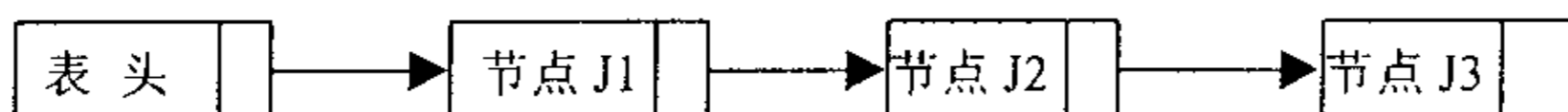


图 5-3 路由表数据结构示意图

距离表中记录的是本节点 I 的邻节点到网内其它节点的路由信息, 它是一个广义表, 由若干个块组成, 每块对应一个邻节点的路由表。距离表格式见图 5-4。

块 1	块 2
邻节点 i_1 的路由表	邻节点 i_2 的路由表

图 5-4 距离表格式示意图

节点状态表用来记录节点的状态, 它在格式方面与路由表类似, 如图 5-5 所示。

目的节点 J	J 的驻留信道	向 J 发送失败数	收到 J 的话音分组序号	收到 J 的一般数据分组序号	最后收到 J 的信息的时间
--------	---------	-----------	--------------	----------------	---------------

图 5-5 节点状态表格式

§ 5.2 点对点模式的 UPMA

一. 原理

点对点模式可解决两个局域网远程互连的问题。该模式(图 5-6)仅有两个节点(A和B)。

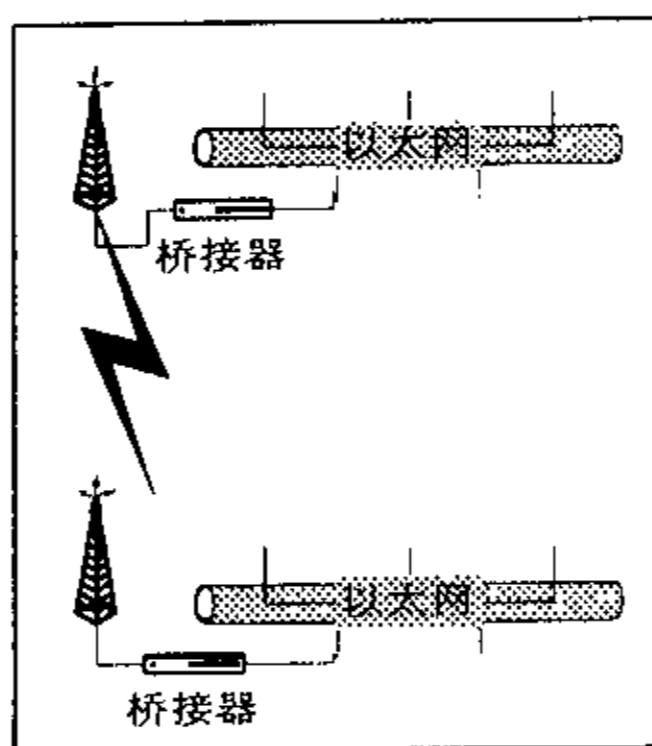


图 5-6 点对点桥接

当一个节点开机时,它侦听信道。如果该信道空闲时间达到了某一预定的时间段,它就发送一个 SOP 通告它的存在。如果该 SOP 被另一个 SOP 所交叠,它就随机延迟一段时间后发送。一个节点收到另一个节点的 SOP 或分组后就知这个节点开机了。当一个节点发现它的 SOP 被另一个节点正确接收时,它就发送一个请求分组(RP)来引发另一节点 B 的传输时期。节点 B 在发完一定数目的分组后就附加一指配分组(AP)于最后一个传输的分组上。AP 终止 B 的传输。节点 A 收到 AP 后就开始它的传输时期。如果节点 B 没有任何分组传输就立即发送 AP 给 A。节点 A 就开始它的分组传输。为确保 B 能确认分组接收和传送有严格时间要求的数据,在两个连续的分组传输之间有一个微时隙。该微时隙(T_{slot})应该大于来回传输时延、处理时延和载波检测时延的总和。每个传输分组的末尾附带 ACK 信息或继续传输指示(CTI)。在一个节点的传输时期内,另一个节点能在微时隙里插入它的分组而不会冲突。这可防止一个节点独占该信道。图 5-7 显示了在点对点的无线 Internet 网桥模式下的 UPMA 帧结构。

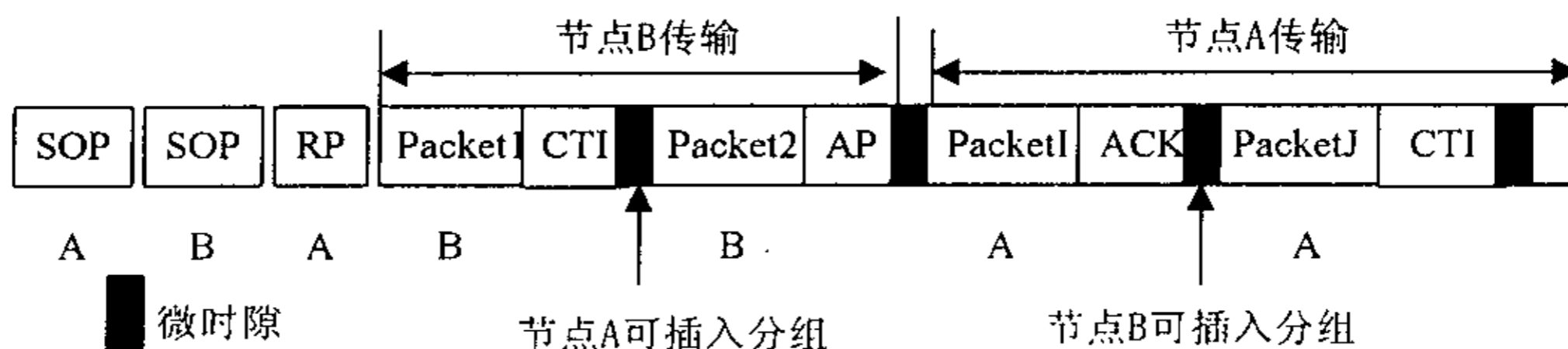


图 5-7 点对点模式的 UPMA

二. 仿真假设

对于 LAN 互连, 许多研究表明 LAN 业务具有自相似性。而通过叠加大量的严格交替的具有诺亚效应(Noah effect)的 ON/OFF 源则可得总的业务显现出自相似性。故而本仿真将采用第四章介绍的 Pareto 分布的 ON/OFF 源来近似模拟 LAN 业务, 叠加的源的个数为 100。对于 LAN 业务, OFF 周期的 $\alpha = 1.2$, ON 周期的 $\alpha = 1.7$ 。同时每一次产生的分组假设为以太网的分组。在以太网中, 最大的分组是 1512 字节, 大多数用于文件传送方面。峰值速率是 10Mbps。用一个开/关过程可以为以太网业务量建模。在活动周期分组长度分布的情况: 46 字节以 0.342 的概率, 144 字节以 0.093 的概率, 1500 字节以 0.565 的概率, 平均分组容量为 876.6 字节或 0.7 毫秒。LAN 互连要求的平均分组延时为 10-100ms, 故而我们这里取 0.1s 为分组的生存时间。微时隙与 AP 分组假设为 32 字节。具体所用参数如表 5-1 所示。

表 5-1 主要仿真参数

信道速率	10Mbps
ON 周期	0.352s
OFF 周期	0.65s
分组长度	1500,144,46bytes
分组生存时间	0.1s

三. 仿真流程图

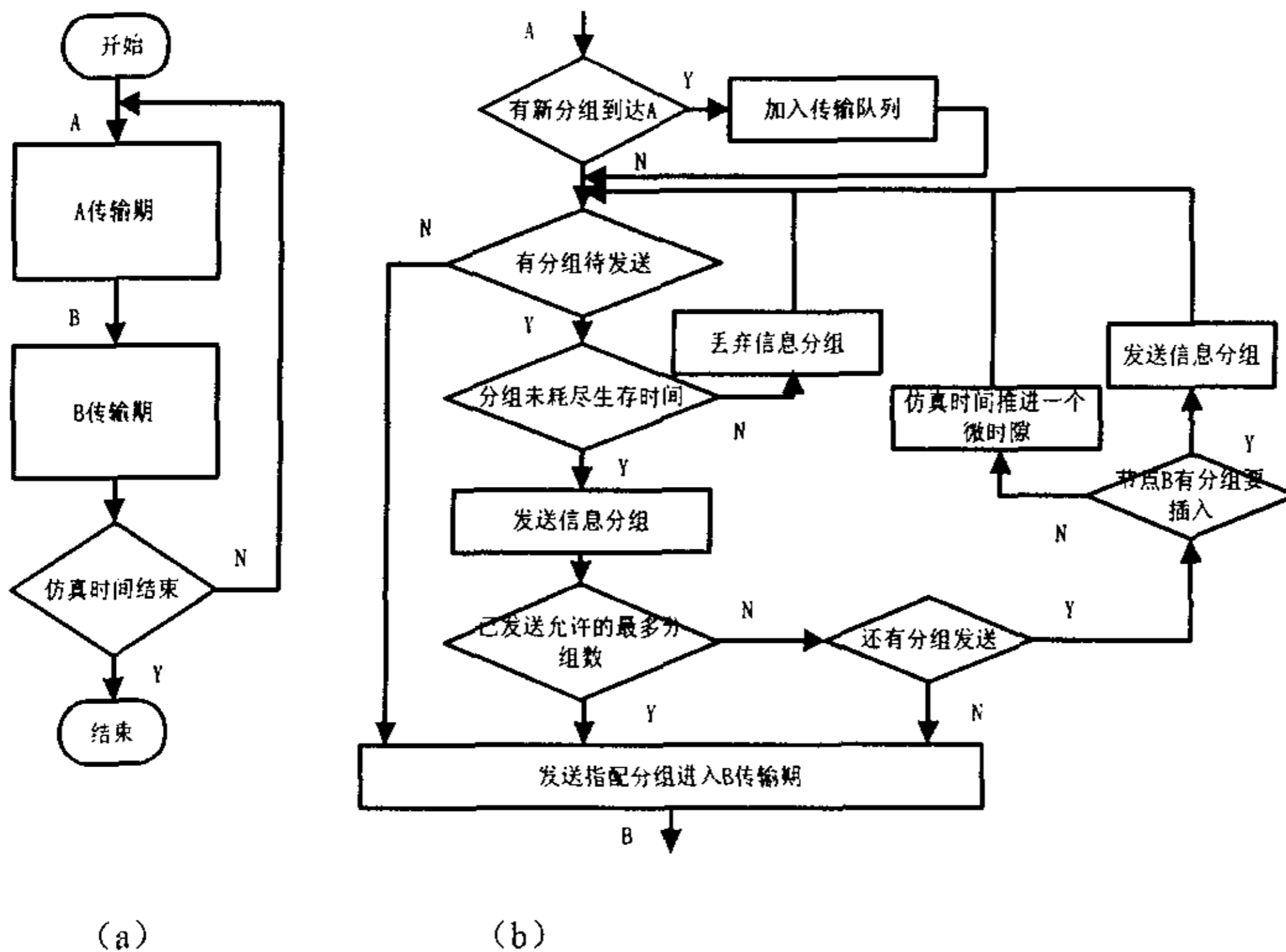


图 5-8 点对点 UPMA 流程图

点对点的 UPMA 主流程图如图 5-8 (a) 所示, A 传输期与 B 传输期相似, 在此只给出一个 A 传输期的流程图, 如图 5-8 (b) 所示。

四. 仿真结果及其分析

本仿真假设信道是无误传输的。性能曲线如图 5-9, 5-10, 5-11 所示。

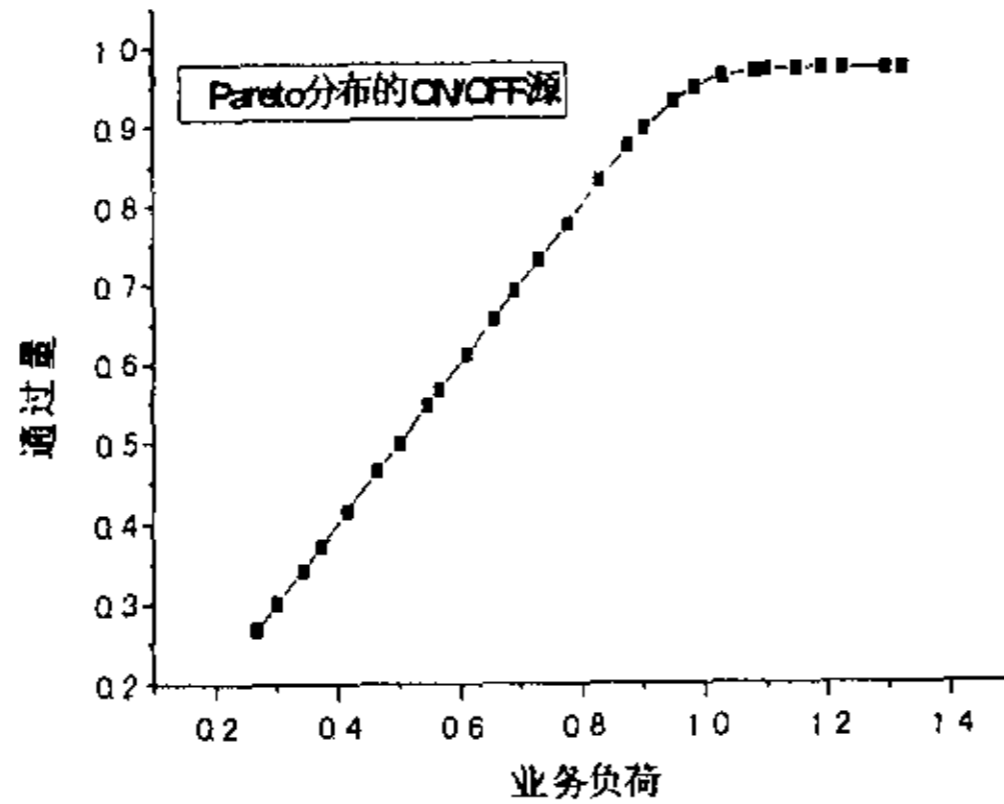


图 5-9 通过量

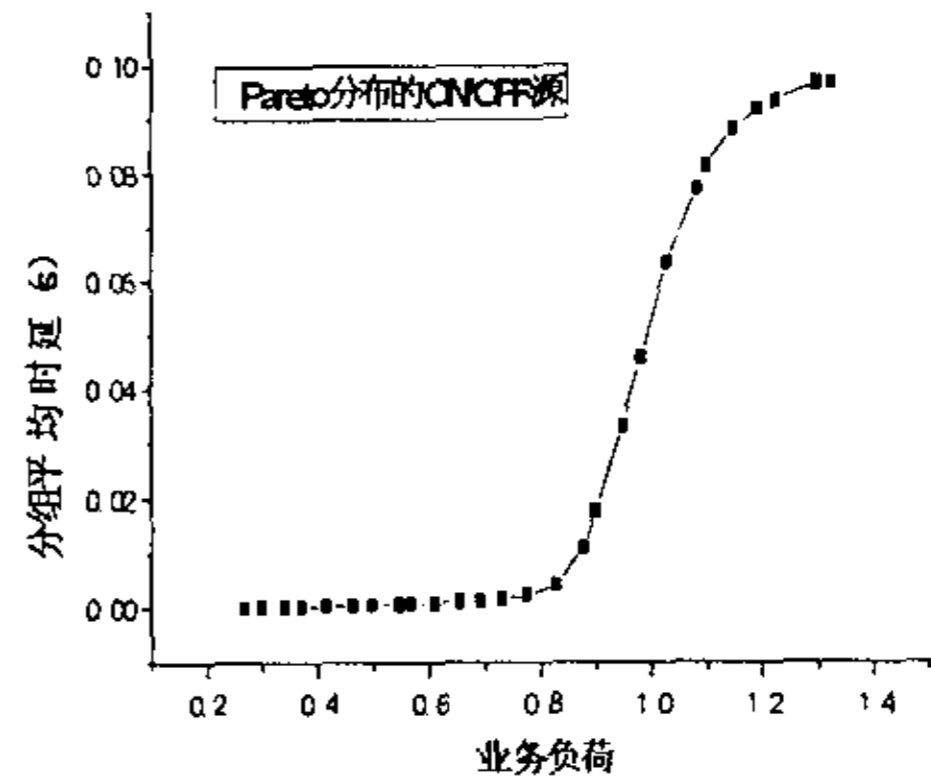


图 5-10 分组平均时延

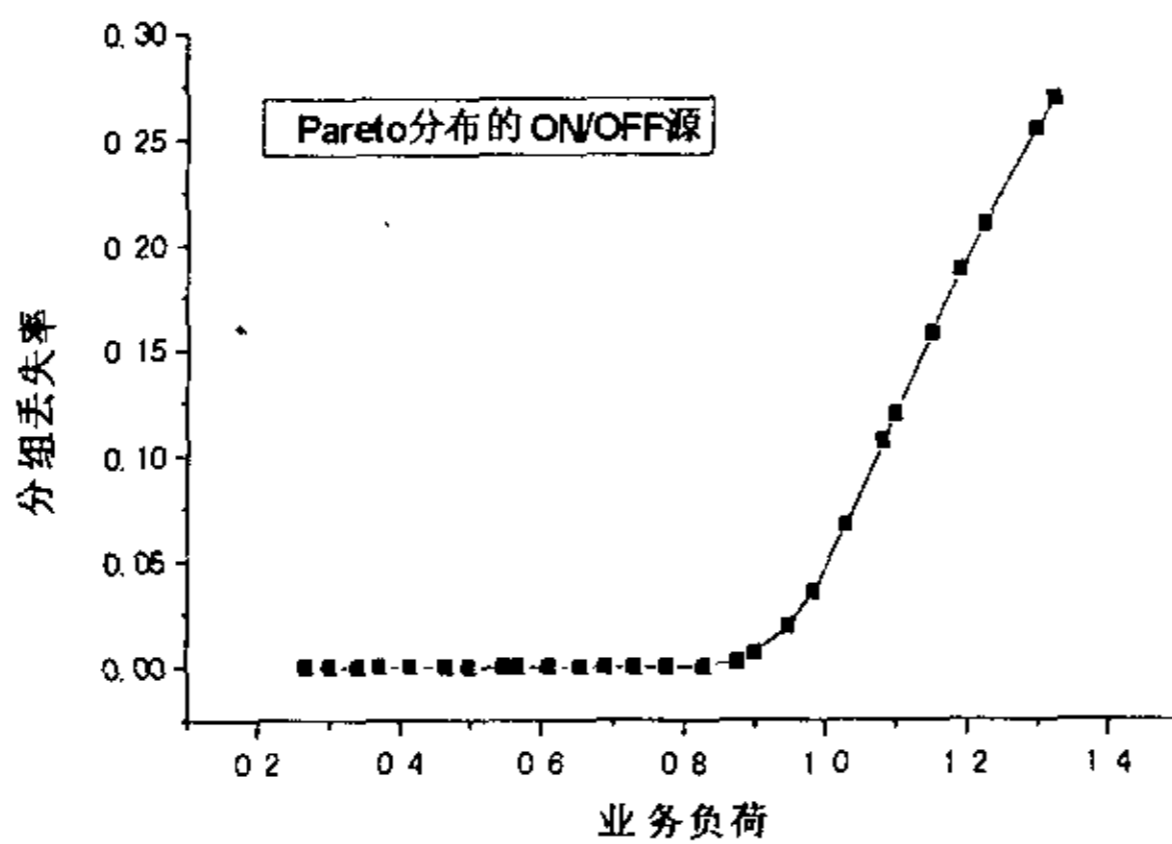


图 5-11 分组丢失率

由图 5-9, 5-10, 5-11 可看出在业务量较小时, 通过量随业务量的增加而线性增加, 有极低的分组时延和零分组丢弃率。当归一化负荷趋近于 1 和超过 1 时, 通过量基本保持稳定为 0.96, 而分组丢弃率和分组平均时延则急剧上升。但最后分组平均时延又保持在 0.1s, 这是因为仿真假设了分组生存时间为 0.1s, 被丢弃的分组不考虑重传。我们从理论上也可近似分析出其最大通过量。假若信息分组、AP 分组和微时隙长度为分别为 L , L_{AP} , L_{SLOT} , 则在满负荷条件下其通过量为 $5 \times L / (5 \times L + 4 \times L_{SLOT} + L_{AP})$ (仿真中设一次传输期最多传 5 个信息分组), 因 $L \approx 0.7\text{ms}$, $L_{SLOT} = L_{AP} \approx 0.024\text{ms}$, 所以最大通过量约为 0.9668, 与仿真结果十分相符。由此可见在该种业务条件下, UPMA 可取得

满意的性能。

§ 5.3 星型拓扑模式的 UPMA

一. 原理

带一个中心接入点的无线 Internet 接入的拓扑是一个星型结构。中心接入点 (CAP) 连到 Internet 骨干网, 如图 5-12 所示, 其它节点直接跟 CAP 通信。

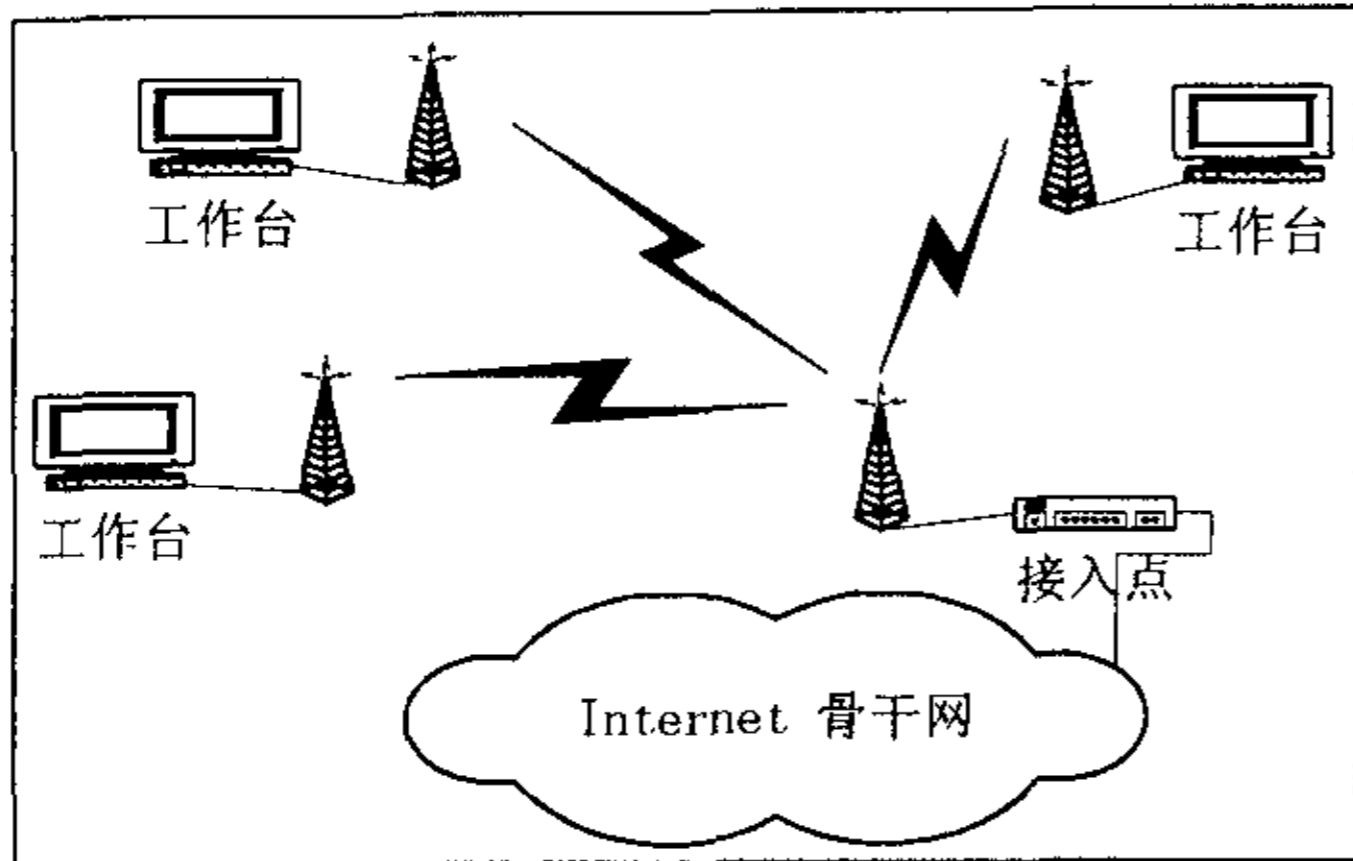


图 5-12 星型模式的 UPMA

该模式下 CAP 负责安排分组的传输。如图 5-13 所示, CAP 根据自组织算法决定节点数目, 以循环服务规则安排分组的传输。帧的传输以起始分组(Start)为开始。在 CAP 发送的每个分组或信标后, 有一微时隙使一个普通节点利用该信道传输分组。如果一个节点没有分组要传输就使该微时隙空闲。在一个节点传输完后, CAP 会发送它的分组或信标来通告下一个微时隙的开始以让另一个节点接入。仅当 CAP 没有分组传输时才发送信标。当在一帧中每个节点都有一次机会发送分组时, CAP 就发送一个结束分组(End)。该结束分组后的微时隙是预留给新节点的接入使用的。CAP 以循环顺序发送分组到不同节点。当 CAP 中的分组队列不空时, 起始(Start)和结束(End)分组可被附加在常规分组后的起始和结束标志所替代。

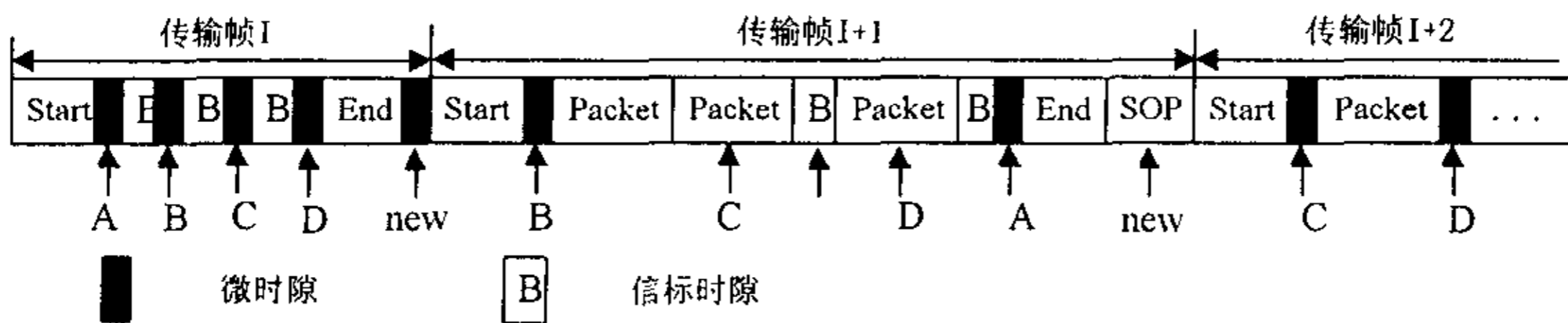


图 5-13 星型模式 UPMA 帧格式

二. 仿真假设

由于未来的通信业务量中数据业务将占据相当大的分量, 本仿真只考虑数据业务。分析数据业务一般采用的是泊松到达的业务模型和服从指数分布的 ON/OFF 源模型。但是越来越多的研究表明现代数据业务具有很强的突发特性、具有自相似的特征和长时相关的特性, 这是传统的泊松源和指数分布的 ON/OFF 源所不能确切反映的^[17]。而 ON/OFF 长度服从重尾分布 (比如 Weibull) 的 ON/OFF 源则能较真切的反映现代数据的应用 (比如 WWW 的应用)^[13], 通过叠加大量的具有这种特性的 ON/OFF 源则能使产生的业务呈现出自相似的特性^[18]。本仿真采用第四章介绍的 Weibull 分布的 ON/OFF 源, 分别取 $\alpha = 1, 0.88, 0.7, 0.6$, 同时为了便于比较, 也采用了泊松到达的过程。主要仿真参数如表 5-2 所示。

网络浏览的过程由一个相对长的停顿时间(OFF)和由发送一系列请求的时间(ON)组成。对应于上述物理过程, 我们取 ON 周期为 3.3s, OFF 周期为 22.8s, 同时仿真时间取得足够长来保证了大致相同的业务的到达特性。

假定信标时隙、Start、End 和 ACK 分组都一致为微时隙大小。

假设节点具有相同的业务负荷, 并具有无限的缓冲器。

对于非激活节点请求接入是以竞争方式进行, 这里采用比较简单的类似二进制指数退避法来进行进入。即节点接入的概率等于节点申请该次接入的次数的倒数, 若超过一定的时间仍未成功接入则被拒绝。被拒绝的节点需要重新申请接入。

本仿真将分两种情况进行讨论。一种是节点仅在本网内进行相互通信。另一种是节点与本网络外部的节点进行通信, 此时需要在 CAP 处模拟可能产生的外部业务。

表 5-2 主要仿真参数

信道速率	10Mbps
节点负荷	30kbps; 114kbps; 384kbps
ON 周期	3.3s
OFF 周期	22.8s
分组生存时间 T_{DROP}	500ms; 10s
微时隙大小	32bytes
最大分组长度	19080bits
仿真时间	7200s

三. 仿真流程图

仿真流程图如图 5-14 所示, 这里只列出了程序大概的框架, 具体的流程限于篇幅没有列出。

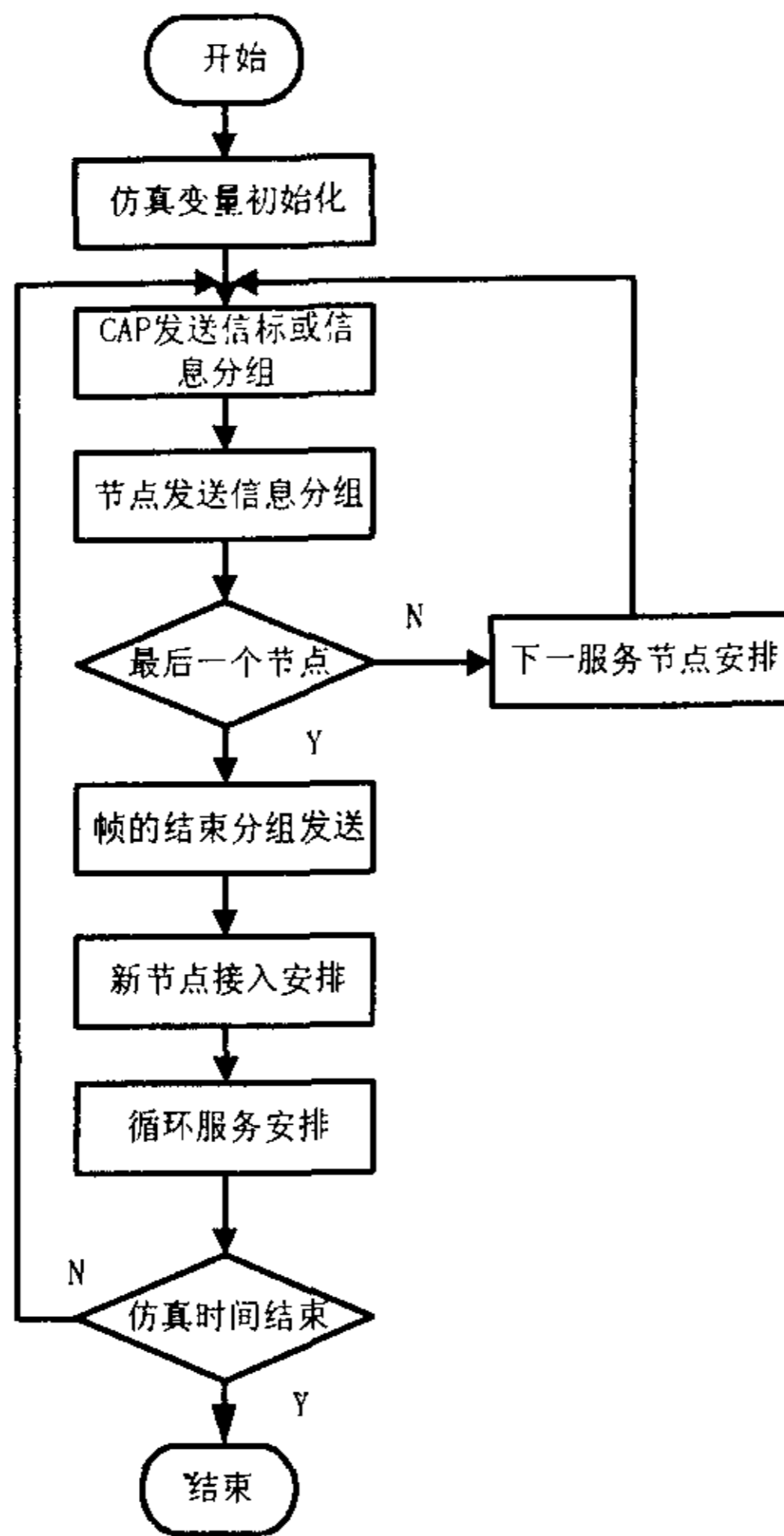


图 5-14 星型拓扑的 UPMA 流程图

四. 仿真结果及其分析

1. 节点仅在本网络内进行通信

假设节点负荷一致为 30kbps, 此时 CAP 仅转发业务, 不独自产生业务。

①业务源特性对协议性能的影响

图 5-15, 5-16, 5-17 分别给出了在分组生存时间为 0.5s 时的三组性能曲线。

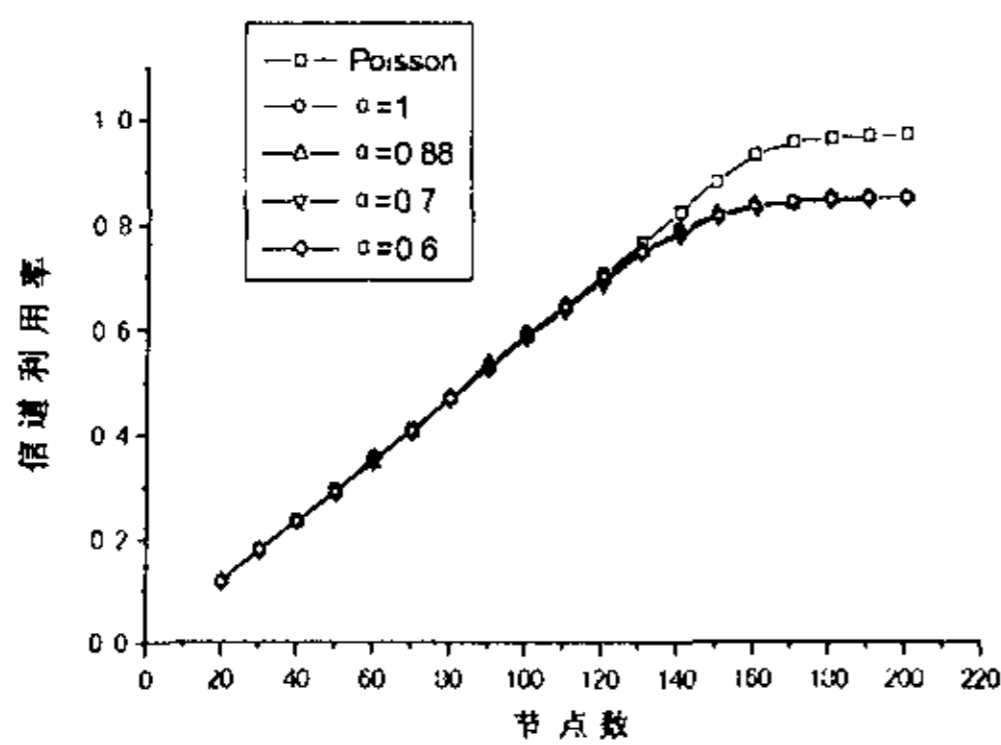


图 5-15 信道利用率

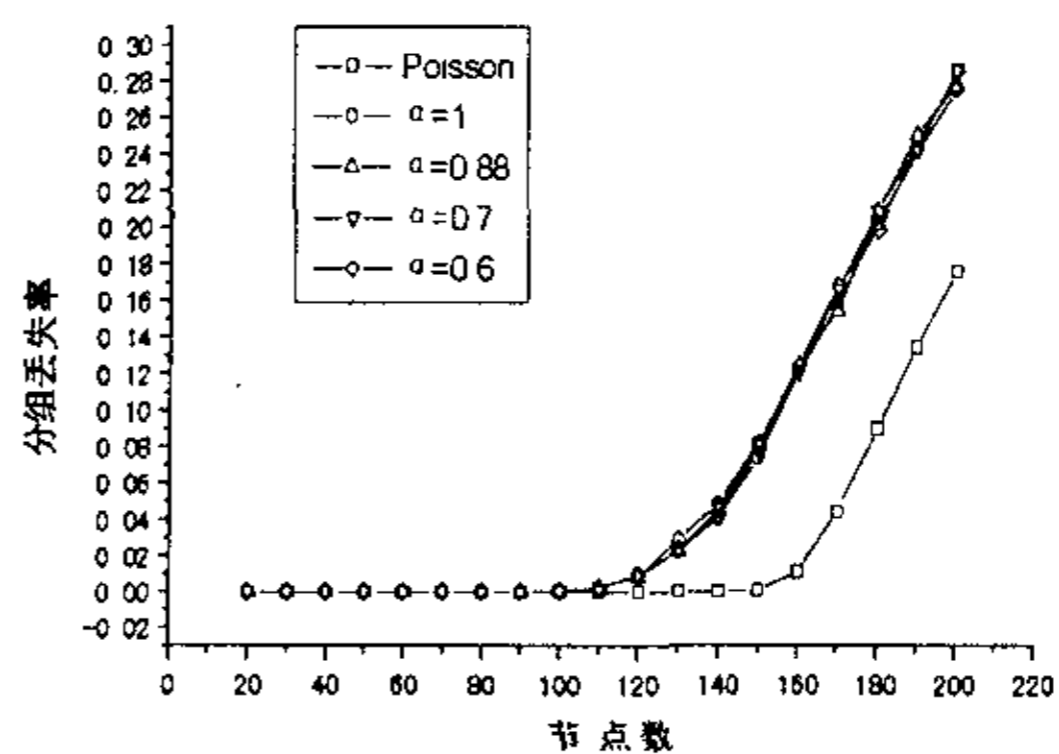


图 5-16 平均分组丢失率

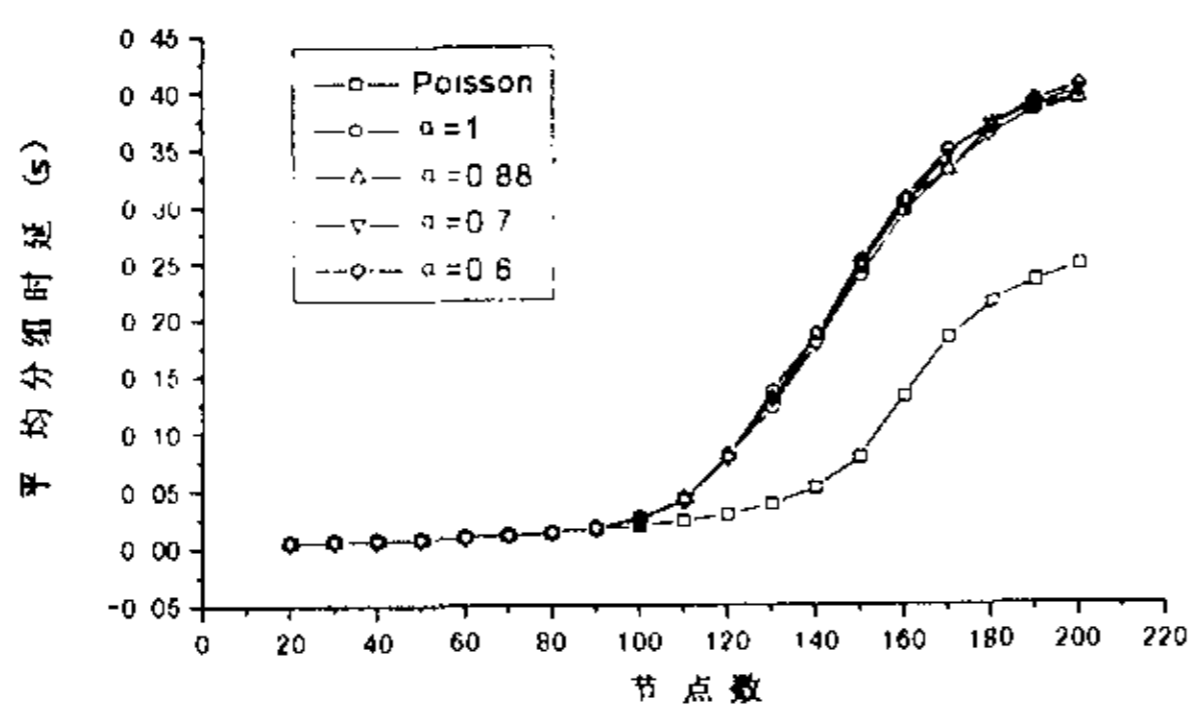


图 5-17 平均分组时延

因此需要系统来控制最大允许接入的用户数以保证业务的服务质量。由图 5-15 可看出在节点数小于 110 时，相应于各种业务源的通过量相当一致地随着节点数的增加线性地增加。当节点数超过 110 时相应于泊松到达的通过量仍然近乎线性的增加，而相应于 ON/OFF 到达的通过量却增加不大并且逐渐地趋于平缓。这可由图 5-16 来解释，当节点数小于 110 时，由于负荷不大，故而没有发生分组的丢弃，因而通过量都一样。而当节点数大于 110 时，相应于泊松到达的分组丢弃率远小于 ON/OFF 到达的分组丢弃率。由图 5-16 也可看出当 α 变小时，相应的分组丢弃率有略微的增加。这是可以想象的，因为 α 的值越小，重尾特性越明显，表现为业务的突发性越强烈。图 5-17 则显示了平均分组时延的情况，在节点数大于 110 时，ON/OFF 到达对应的分组平均时延大于泊松到达的平均时延。

② 分组生存时间对协议性能的影响

数据业务相对来说可以容忍较大的时延，这里取分组生存时间为 10s 来与 0.5s 进行比较，如图 5-18，5-19，5-20 所示。

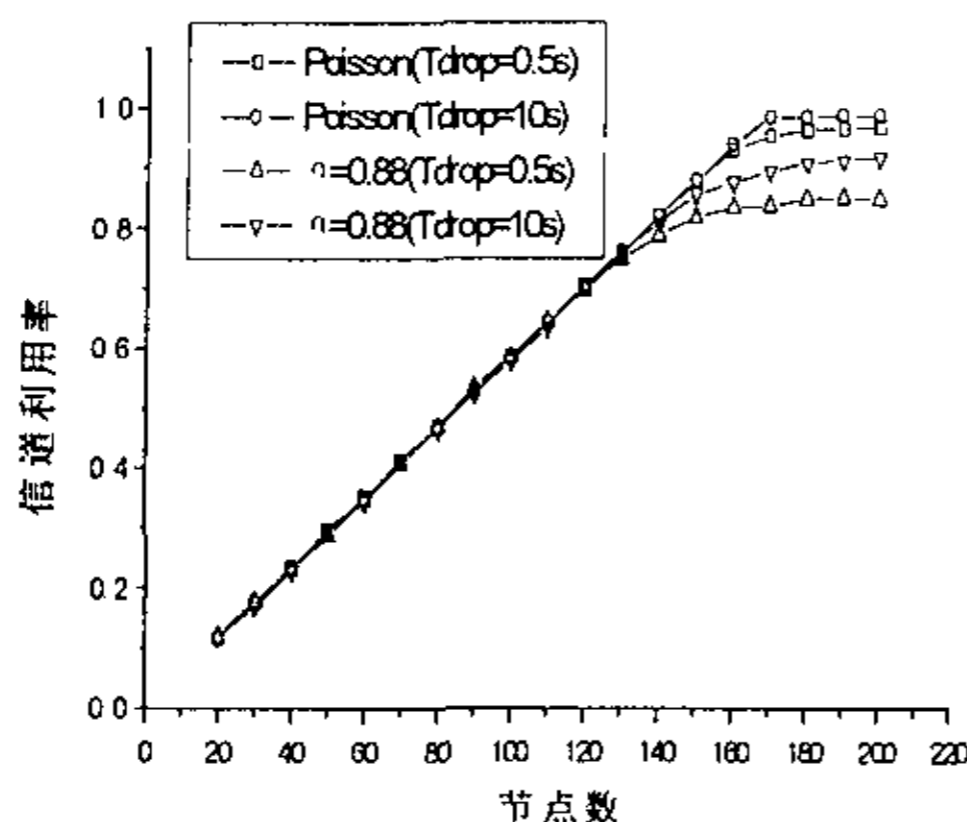


图 5-18 信道利用率

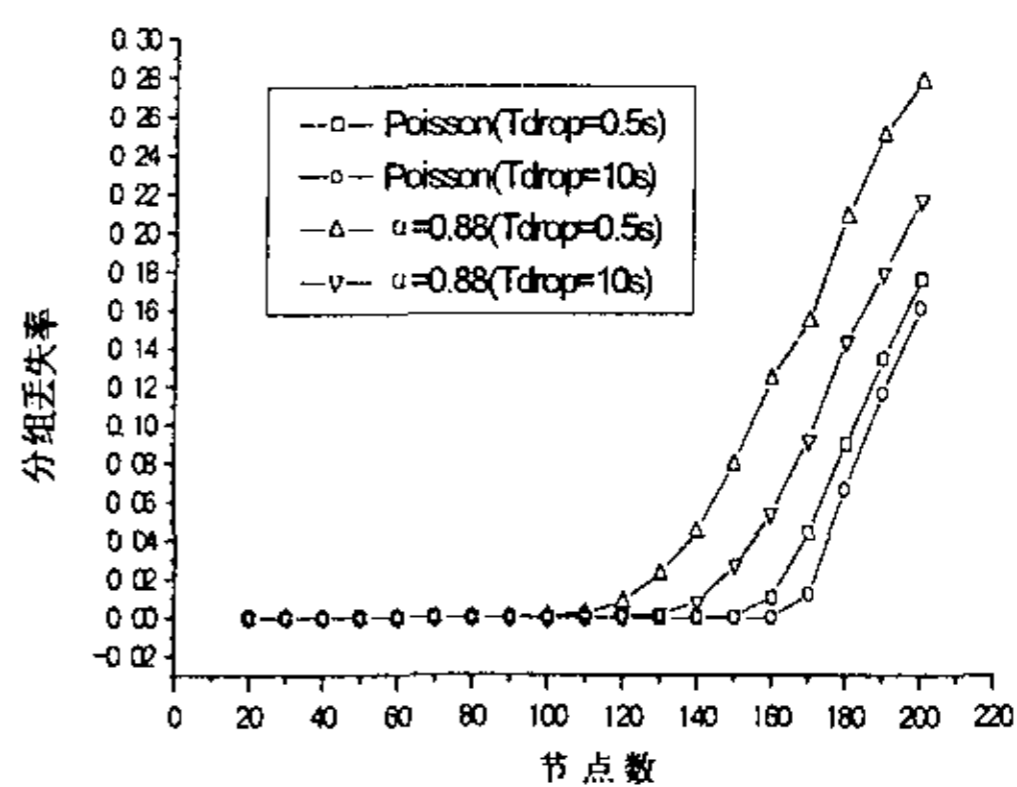


图 5-19 分组丢失率

可以看出，由于分组生存时间的增加，从而使得信道利用率有了相应的增加，分组丢失率有一定的下降，但这却是以增加分组的平均时延为代价的。从图 5-19

由于 UPMA 协议是一种动态的按需分配的多址接入协议，因而在负荷较大时（表现为节点数的增加）仍具有很高的信道利用率。在每个节点的负荷均为 30kbps 时系统最多可支持 110 个节点进行数据通信。若节点数继续增加，此时分组丢弃率将急剧上升，这对于数据容错要求很高的数据应用来说将是不可行的，

也可看出，尽管在分组生存时间为 10s 时的分组丢弃率比 0.5s 时有显著的改善，但是在分组生存时间为 10s 时的 Weibull 分布的 ON/OFF 源对应的分组丢失率却比分组生存时间为 0.5s 的泊松源对应的分组丢失率还大，这是因为突发性强的业务的分组总是积存在某一段时间段，而泊松到达的业务分布却比较平均，从而使得相当的一些分组在还没来得及传送之前就因为超过分组生存时间而被丢弃。

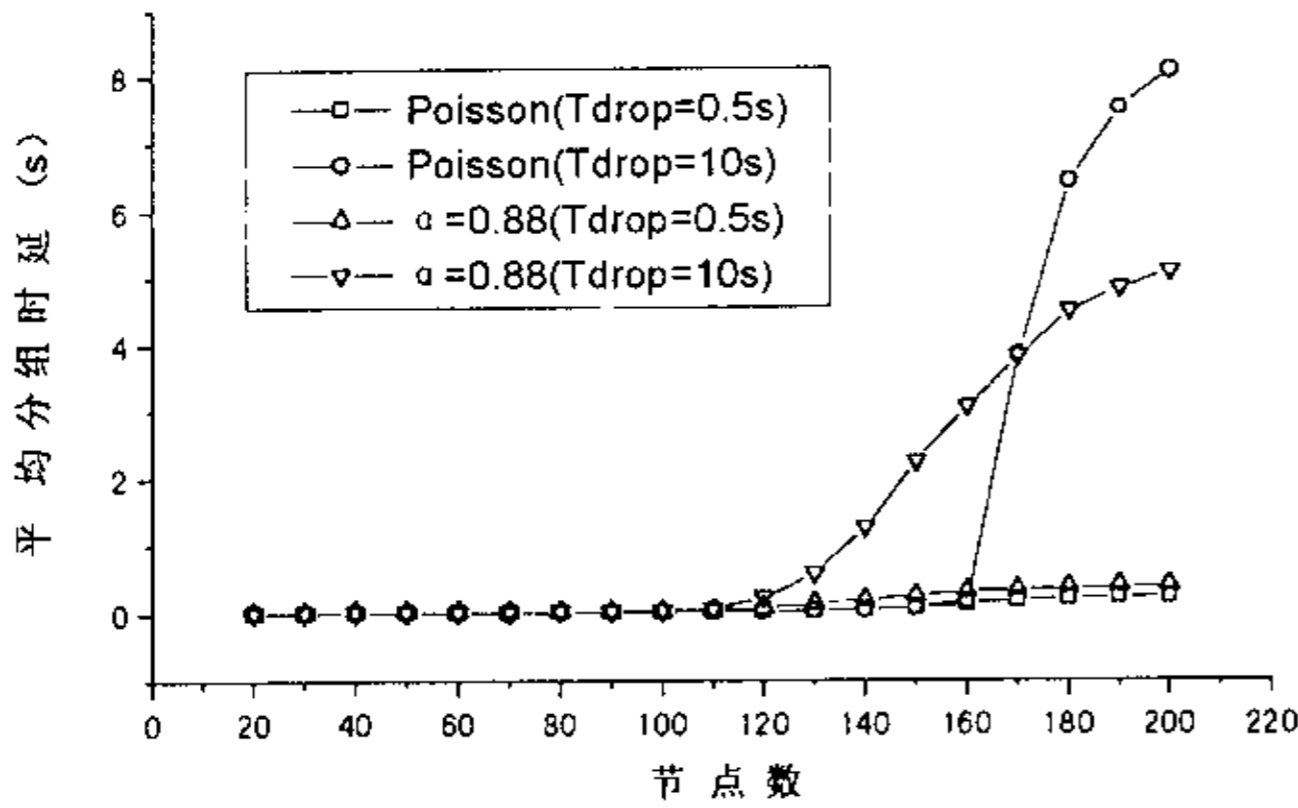


图 5-20 平均分组时延对比

③ T_{idle} 与用于接入的微时隙个数 ASN 对协议性能的影响

在前述的仿真中用到的 T_{idle} 非常大，ASN=1，在这种情况下，对应于所设的业务源的节点几乎不会从空闲状态进入非激活状态。这里再取 $T_{idle}=5s$ ，160s，ASN=1 和 $T_{idle}=5s$ ，ASN=3，两组参数进行仿真，其它参数保持不变。在这种情况下，节点就可能从空闲状态进入非激活状态。结果如图 5-21，5-22 所示。当 $T_{idle}=5s$ ，ASN=1 时在系统负荷比较大时 Poission 到达的分组丢失率急剧上升，信

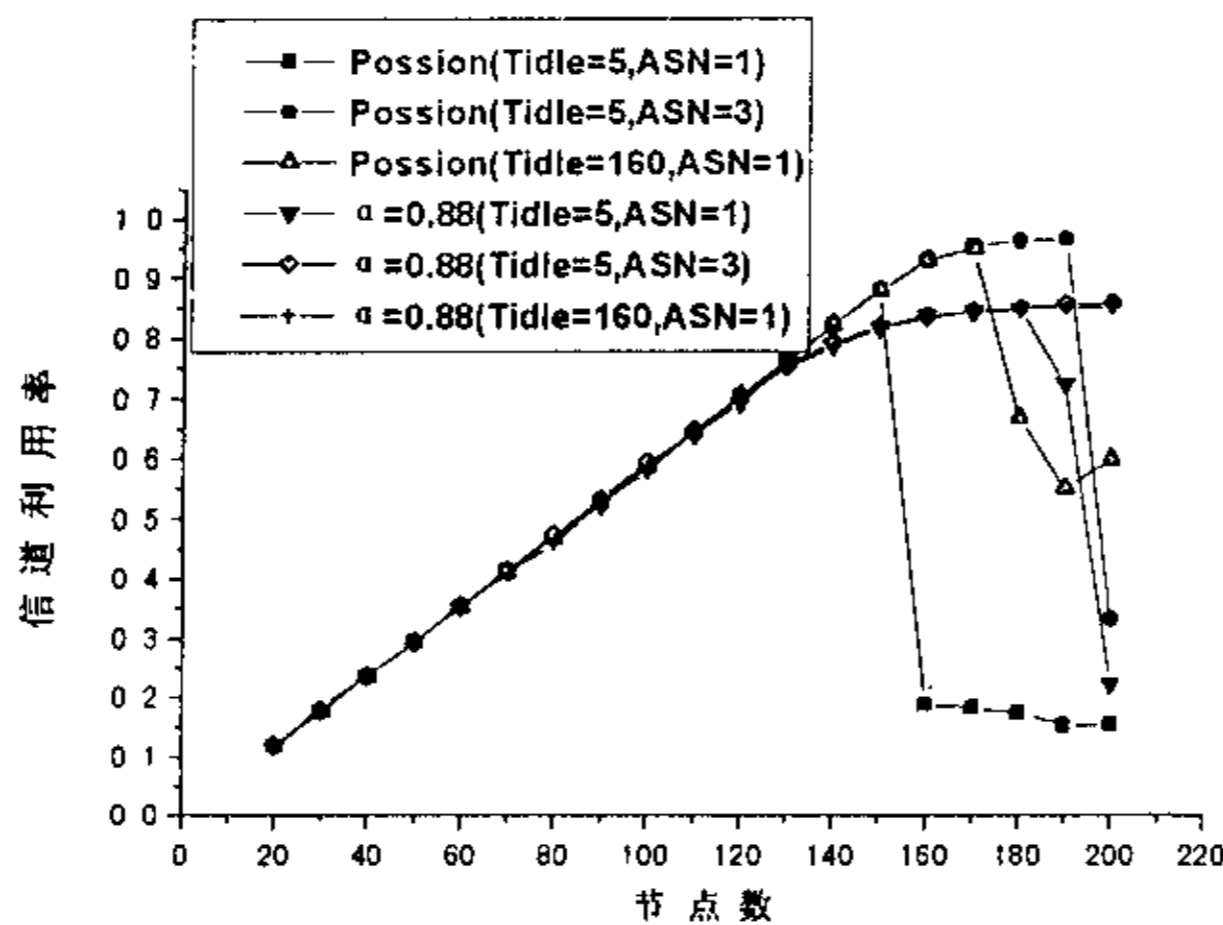


图 5-21 信道利用率

道利用率急剧下降，而其它组曲线则基本上未出现较大的变化。这是由于泊松到

达的业务分布比较均匀从而导致将有不止一个的非激活节点在同一个微时隙内接

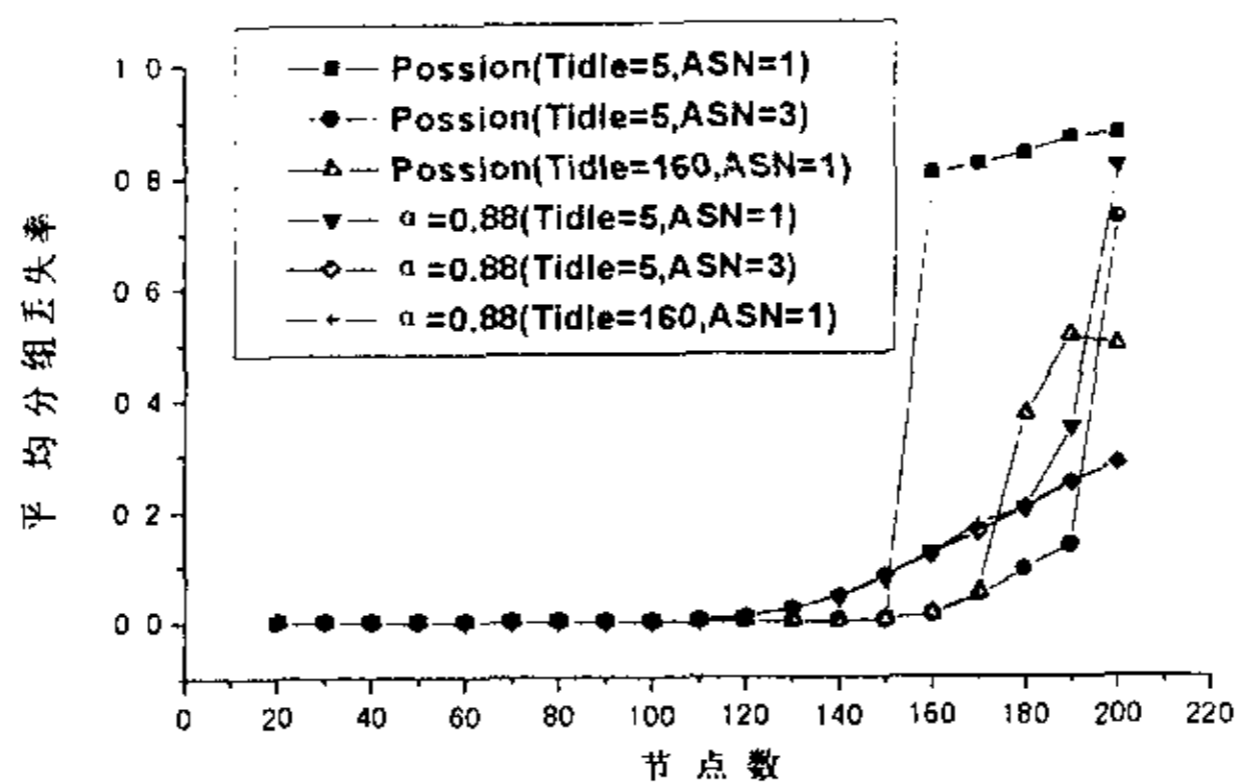


图 5-22 平均分组丢失率

入，从而发生碰撞导致节点分组未能及时进入传输队列而耗尽了分组生存时间被丢弃，结果是降低了信道利用率。同样是 $T_{idle}=5s$ ，但 $ASN=3$ 的性能则较好。因为用于接入的微时隙数目的增加能让节点及时接入以发送分组。但在负荷继续加大时，也不可避免地发生信道利用率下降的现象。因此如若 T_{idle} 设置得比较大（相对于平均空闲时间），则 ASN 值可较小，若 T_{idle} 设置得比较小（相对于平均空闲时间），则 ASN 值应该较大。从图 5-21，5-22 也可看出，若两者值设置得当，则系统性能相当。

2. 节点与本网络外部的节点通信

假设节点负荷为 30kbps, 114kbps, 384kbps, CAP 产生的业务与网络内节点产生的业务总和相同，分组生存时间设为 10s，仿真结果如图 5-23,2-24,2-25 所示。随着节点业务负荷的增加，网络的通过量逐渐上升。但当节点业务负荷变为 384kbps，节点数为 6 时业务源服从 Weibull 分布的节点就发生了分组丢弃现象，而业务源服从泊松分布的节点则在节点数为 13 时才有分组丢弃。因此，当节点业务负荷为 384kbps 时，系统最多能容纳 5 个节点。

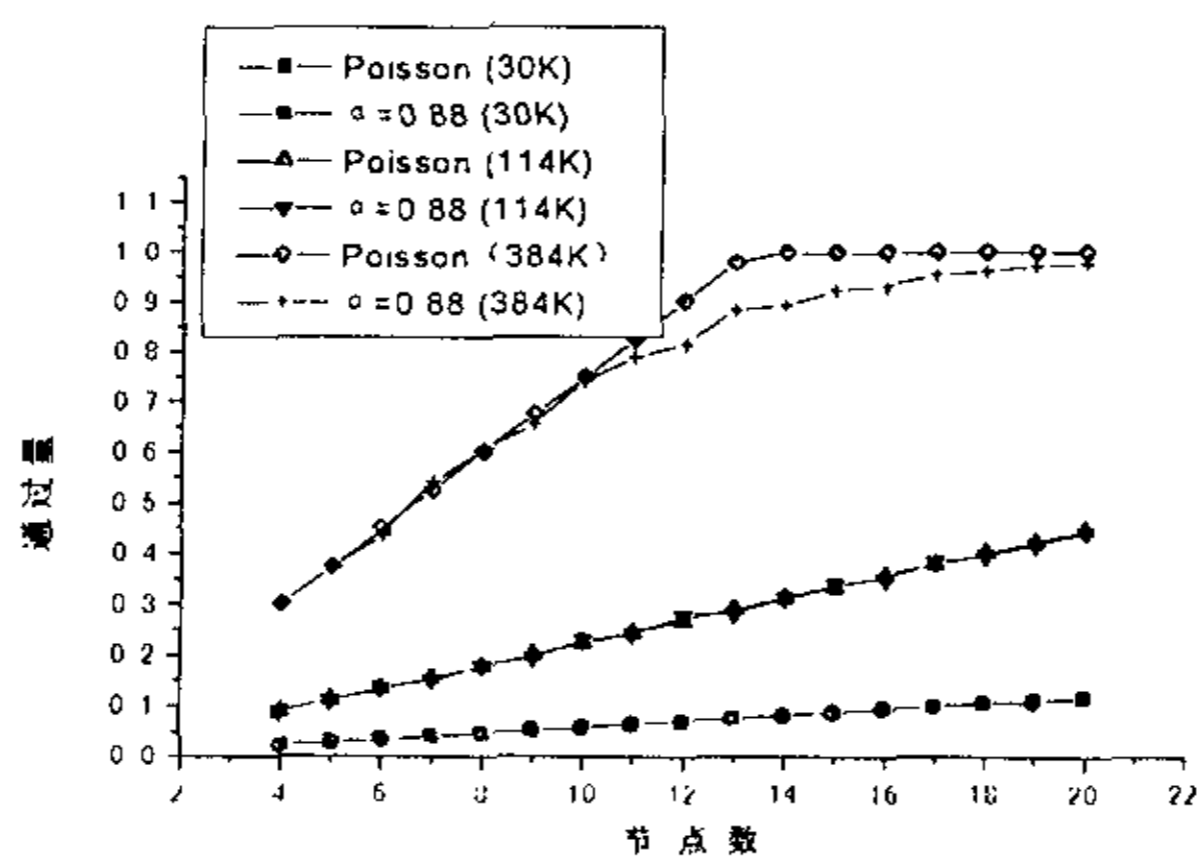


图 5-23 通过量

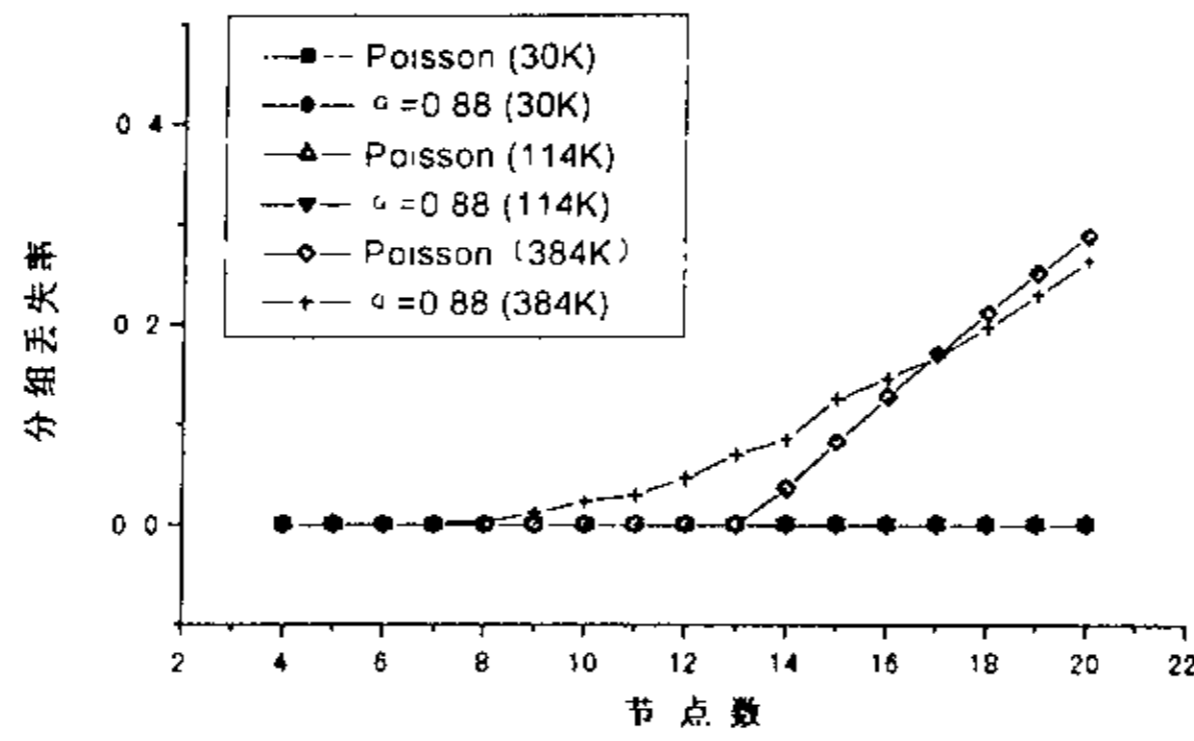


图 5-24 平均分组丢失率

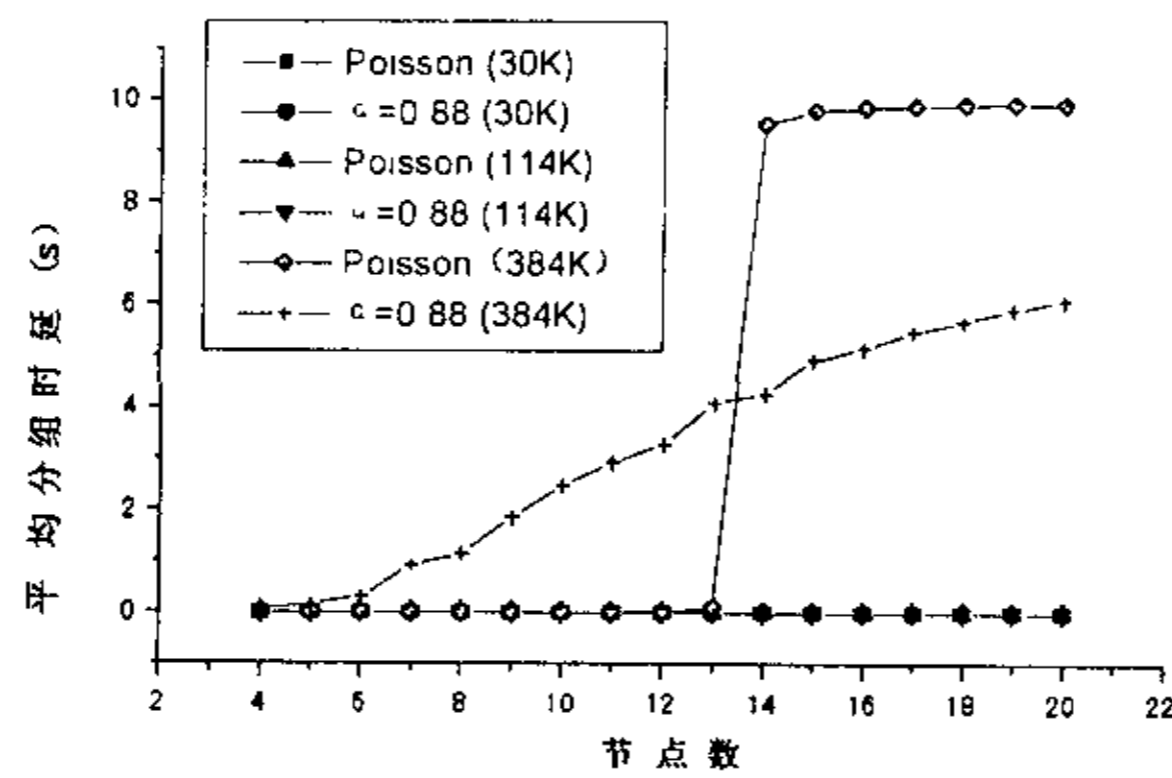


图 5-25 平均分组时延

§ 5.4 全连接拓扑模式的 UPMA

一. 原理

全连接拓扑结构如图 5-26 所示，节点之间可以直接通信。

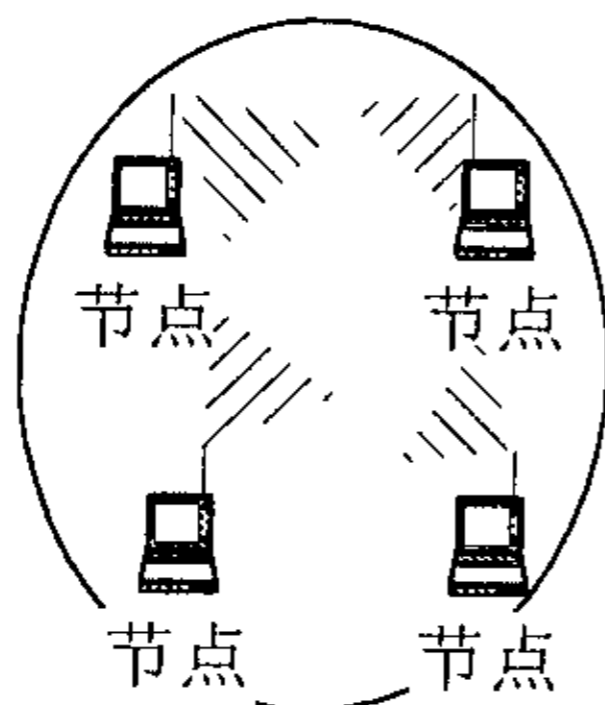


图 5-26 全连接拓扑的 UPMA

对于自组织算法,每个节点能在常规分组末尾附带自身的 SOP 或单独传输 SOP。如果每个节点都没有分组,则该帧将由 $N+1$ 个微时隙构成。最后一个微时隙是预留留给新节点用的。每个分组始于它的微时隙。为公平地共享该帧,一个节点通过循环规则可以得到一帧中的第一个微时隙。一帧中第一个和第 N 个微时隙分别为起始和结束分组或者附带有起始和结束分组。第一个分组也包括微时隙的分配信息和在下一帧中得到第一个微时隙的节点标号。对每一个节点传输期,它可以发送一个或更多的分组,这取决于总的分组队列长度和时延要求。如果一个节点被允许在一帧中发送不止一个分组,它就会在每个分组的末尾附加一个持续标志(CTI),而在最后一个分组末尾附上结束标志(END)。帧格式如图 5-27 所示。

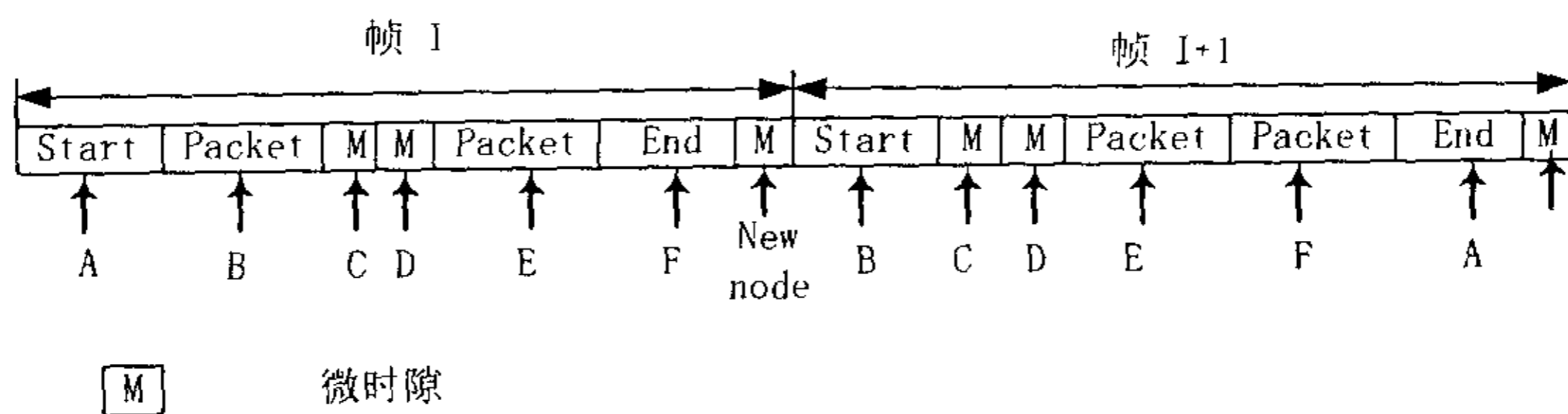


图 5-27 全连接拓扑

二. 业务模型

采用第四章介绍的 Weibull 分布的 ON/OFF 源模型和泊松到达的模型。主要仿真参数如表 5-3 所示。假定 Start、End 和 ACK 分组都一致为微时隙大小。假设节点具有相同的业务负荷,并具有无限的缓冲器。对于非激活节点请求接入以竞争方式进行,这里采用比较简单的二进制指数退避法来进行进入。即节点接入的概率等于节点申请该次接入的次数的倒数,若超过一定的时间仍未成功接入则被拒绝。被拒绝的节点需要重新申请接入。

表 5-3 主要仿真参数

信道速率 (Mbps)	23.5
ON 周期 (s)	3.3
OFF 周期 (s)	22.8
分组生存时间 (s)	0.5
最大分组长度 (bit)	19080
节点负荷 (Kbps)	100
SOP 周期 (s)	0.5

三. 仿真流程图

全连接 UPMA 仿真流程图如图 5-28 所示,限于篇幅,这里只列出程序大概的框架。

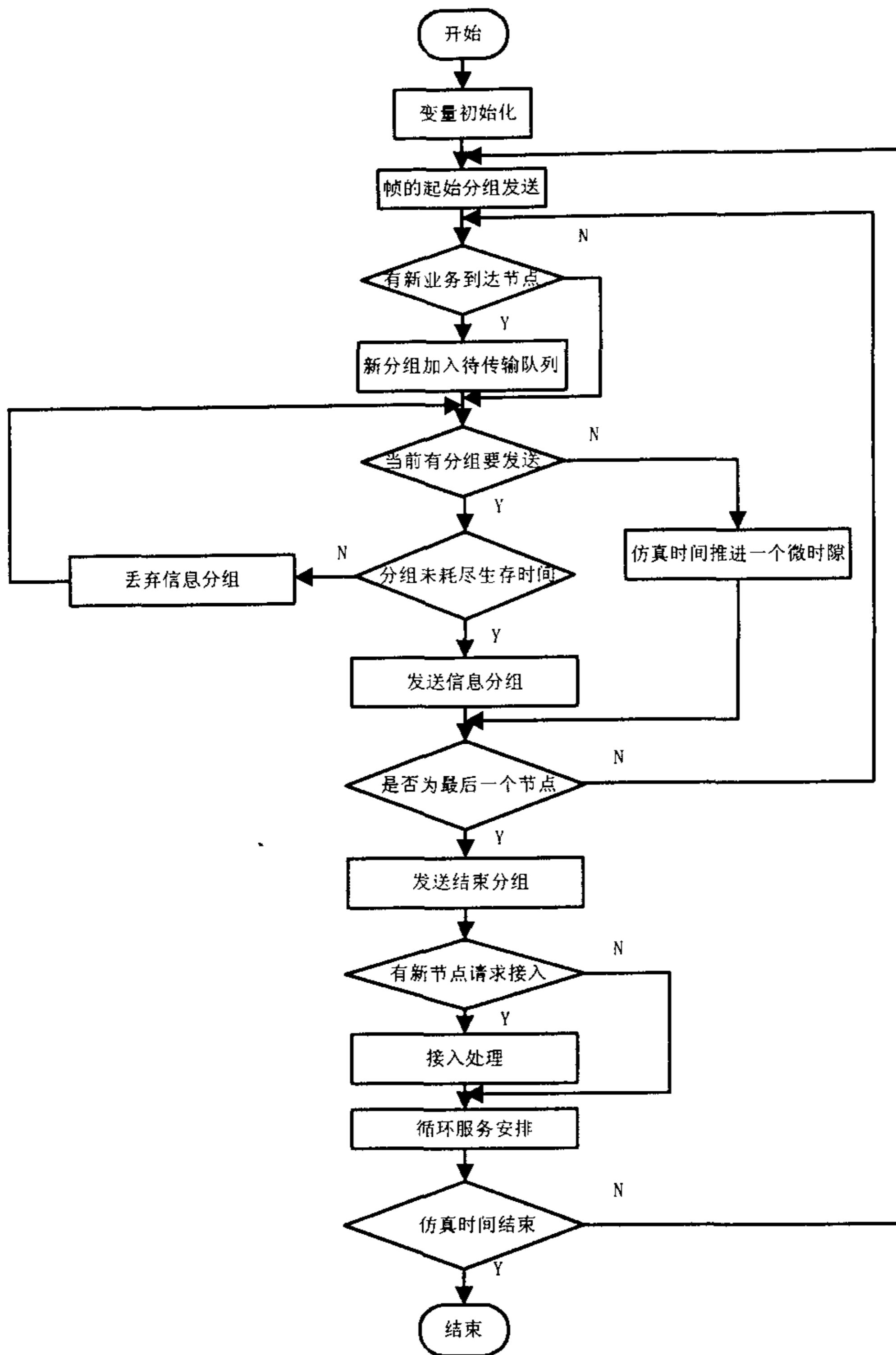


图 5-28 全连接 UPMA 流程图

四. 仿真结果及其分析

仿真假设信道无差错, 被丢弃的分组不进行重传, 结果如图 5-29, 5-30, 5-31 所示。可以看出, 当节点数目较少时, 系统的负荷也较轻, 通过量随负荷的增加

而线性增加，分组时延很小，而具有零的分组丢弃率。当节点数目大于 150 时，系统负荷较大，分组平均时延逐渐加大，而分组丢弃率也随着上升。这对于服从 Weibull 分布的 ON/OFF 源特别明显。在这种业务条件下，UPMA 所能支持的最大节点数为 150。当节点数超过 150 时，系统的性能将逐渐恶化。

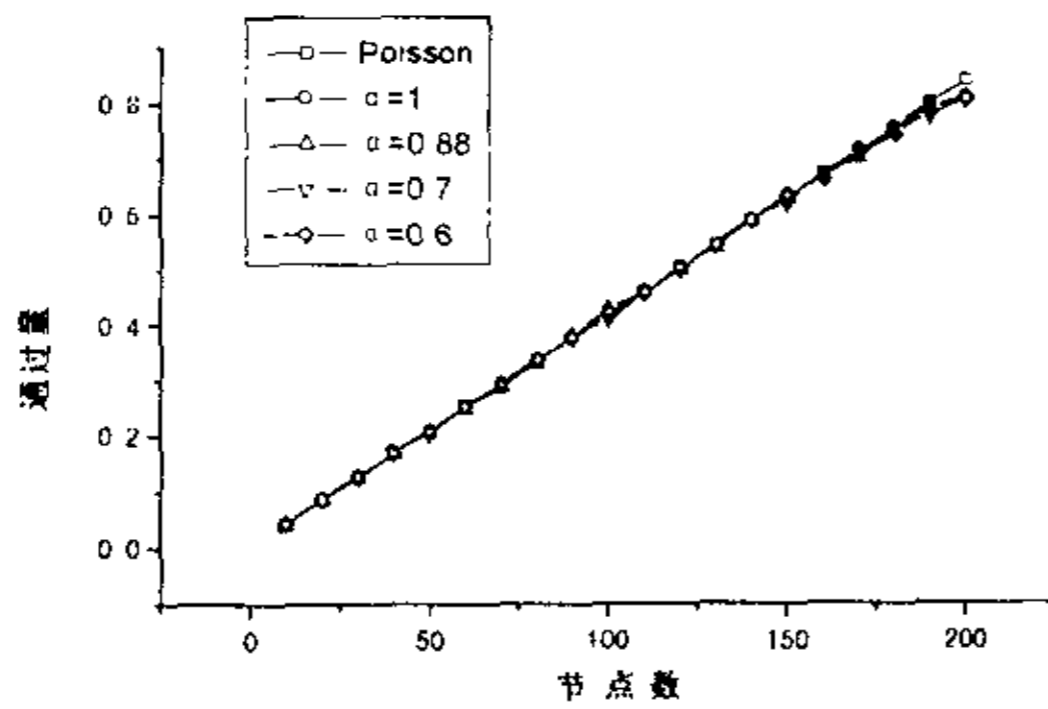


图 5-29 通过量

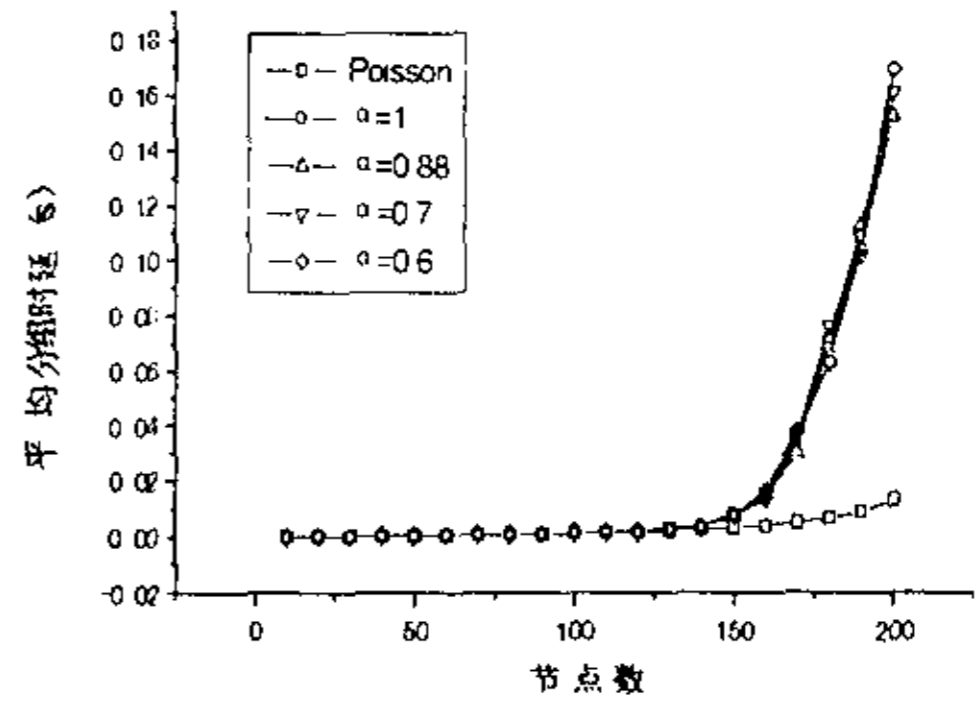


图 5-30 平均分组时延

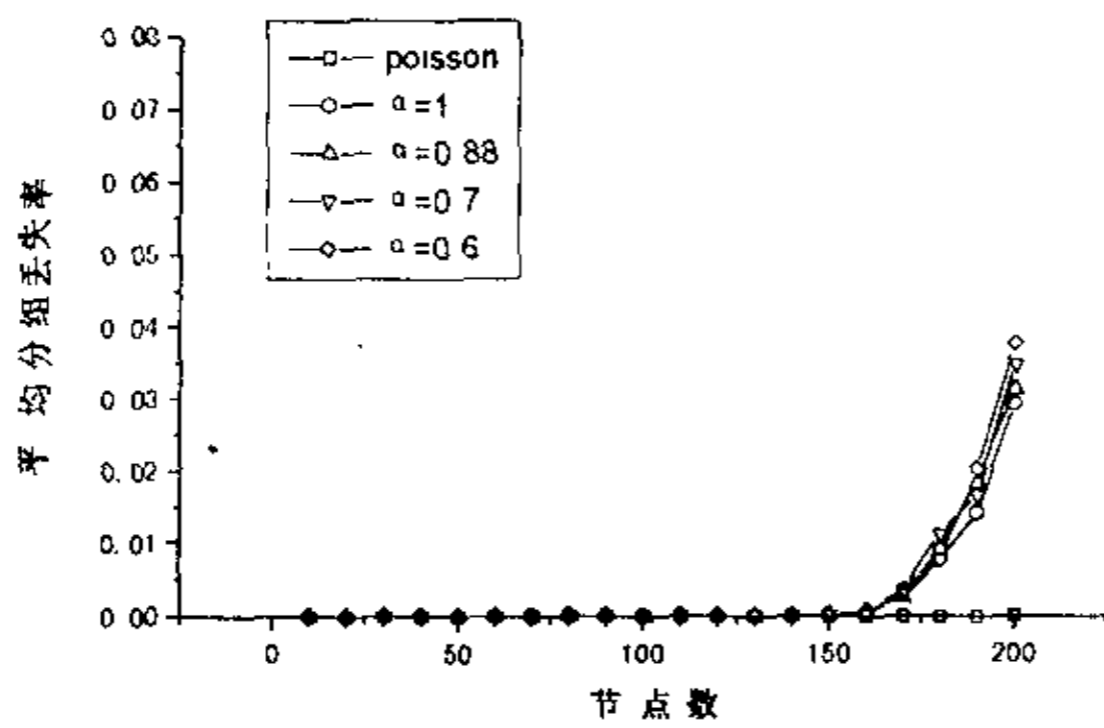


图 5-31 平均分组丢失率

第六章 应用于无线 ad hoc Internet 接入的 UPMA

Ad hoc 网络是一个移动分布式的多跳的无线网络。它没有固定的网络结构，具有相当的灵活性，可以很快地组建起来。它也不依赖少数的几个关键的移动终端来组织控制网络，因此具有抗毁性，并且新的移动终端很容易就可以加入网络当中。

§ 6.1 原理

在 ad hoc 网络中，节点依据自组织算法被划分成群，如图 6-1 所示。具有最多邻节点的节点被推为群首，两个相邻的节点群由一个网关来桥接。在每个节点群中，群首可直接与成员节点通信，这时可用星型拓扑的 UPMA。

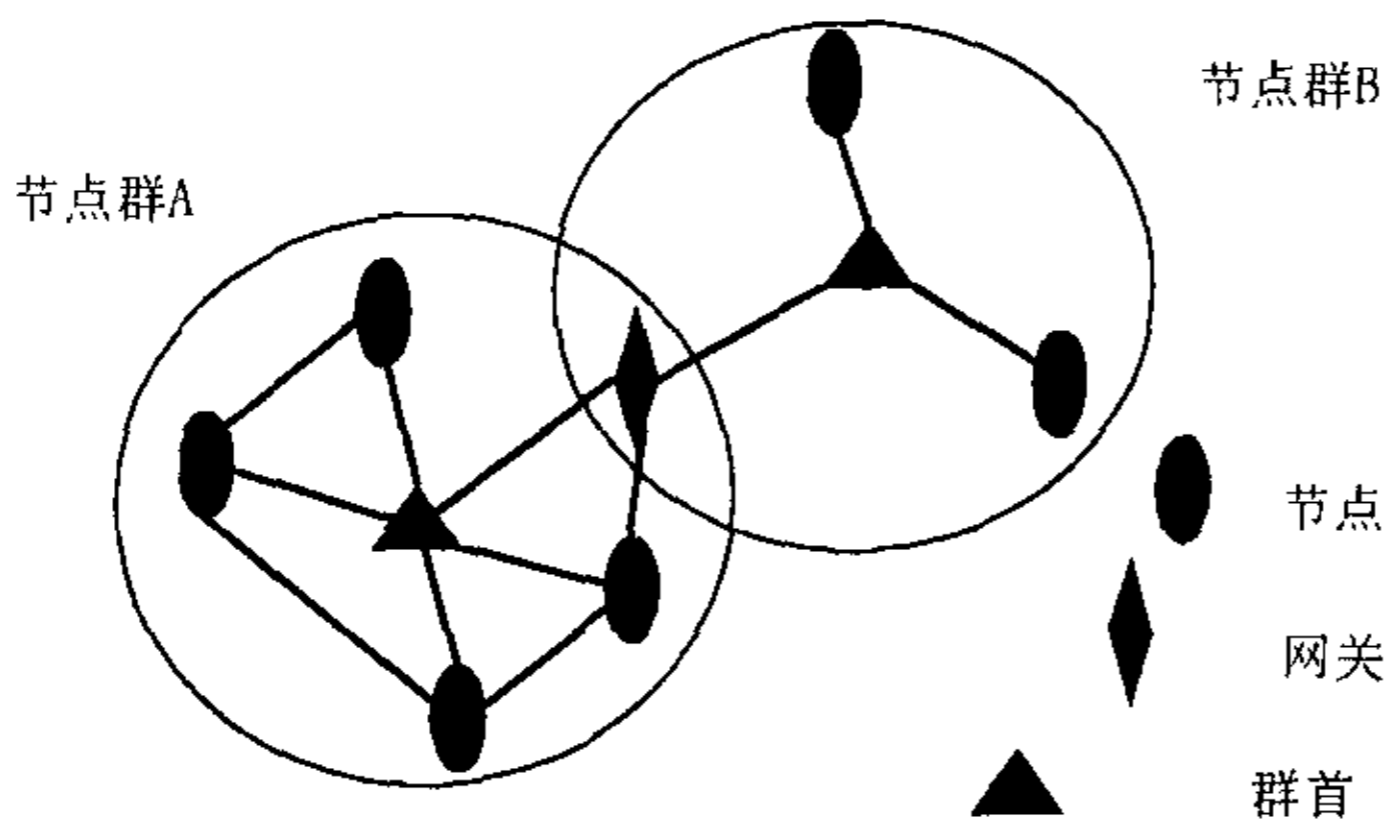


图 6-1 UPMA 应用于 ad hoc 网

当两个节点群具有公共的成员节点时，假若两个群首都向这些公共成员节点发送分组，此时就会发生碰撞。为了避免这类碰撞的发生，每个节点群可工作于不同的频率。如图 6-2 所示，节点群 A 工作于频率 F1，节点群 B 工作于频率 F2，每个节点群可独立地应用 UPMA。桥接两相邻节点群的网关节点将交替工作于这两个频率。为了保证两相邻节点群间有较高的业务传输，每个节点群群首应该为网关节点安排相对较多的传输次数。这样，当网关节点更换工作频率到该节点群时，可以尽可能快地得到传输允许。由于网关节点不能在一个节点群中连续地接收分组，节点群群首必须为网关节点缓存分组以在网关节点工作于本节点群时发送过去。

网关节点工作原理：当网关节点工作于某一节点群时，它侦听群首发送的信标。若信标表明下一个微时隙为网关节点所用，网关节点就可立即发送分组给群

首。若网关节点有不止一个的分组，则它应捎带一个继续传输指示（CTI）标志于每个分组。当它已发送完所有的分组或者已经达到了允许发送的最大分组数时，它应该捎带一个结束（EOT）标志于最后的一个分组上。当群首收到 EOT 时就发送分组给网关节点。然后网关节点将依据预定的规则工作于相邻节点群或者仍然在该群中停留一段时间。基本的规则是网关节点应该交替地工作在相邻的节点群中并保持公平性。

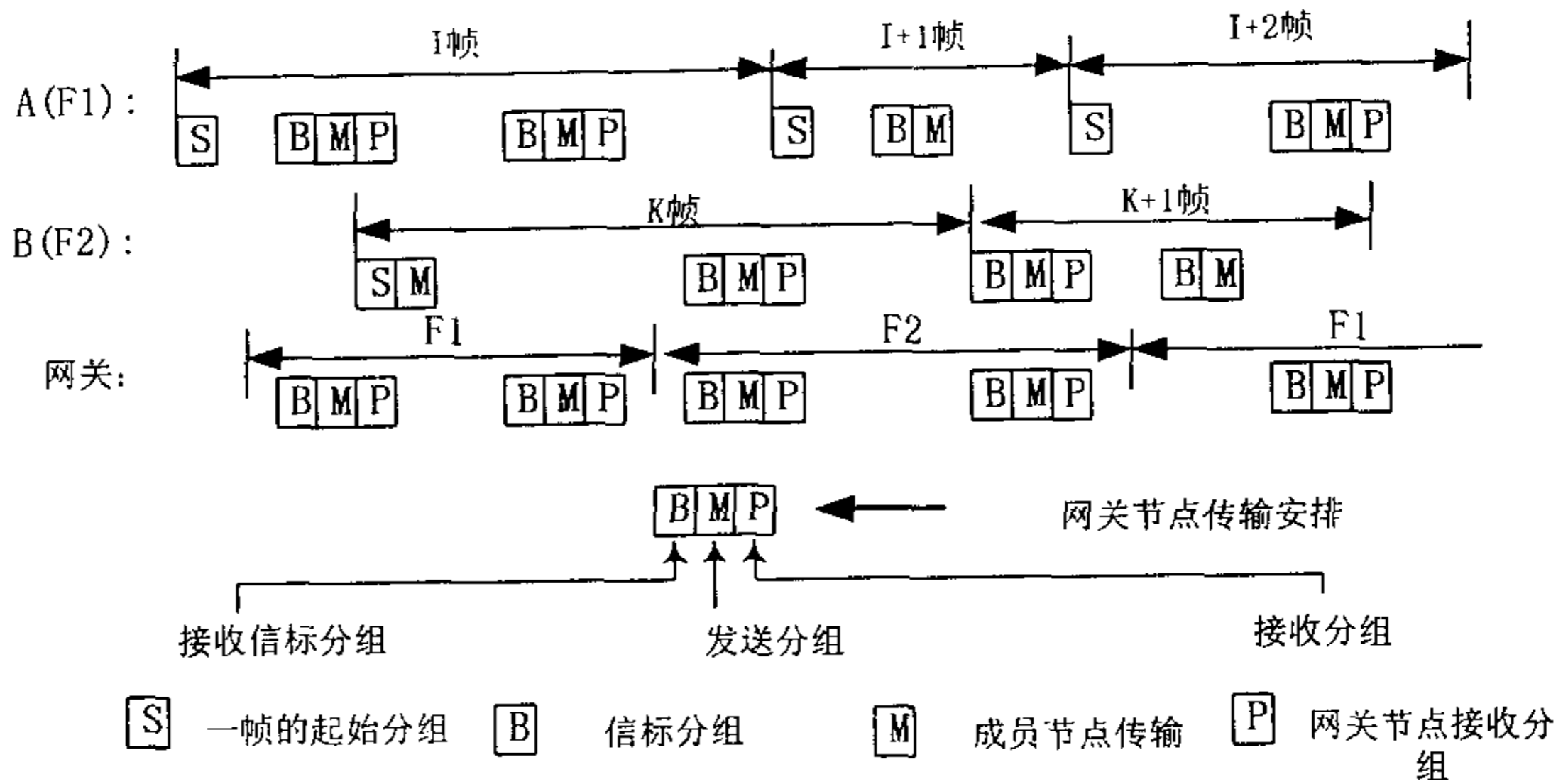


图 6-2 工作方式

§ 6.2 性能仿真分析

一. 仿真假设

本仿真假设仅有两个节点群，而且节点群中的每个节点的业务负荷都是一样的。仿真参数与星型拓扑的仿真一样，所不同的是假设信道是突发差错的。本仿真采用第四章介绍的两维的马尔可夫差错模型。相应的参数设定如表 6-1 所示。

表 6-1 无线差错信道模型参数

g	99.9s
b	100ms
p^G	0
p^B	1
e	0.001

在信道有误码的情况下传输的分组不能被正确接收，反之则可以正确接收。

g 和 b 都服从负指数分布, 且 g 远大于 b , 这种假设在一般的无线通信中也是合理的。

为了便于比较, 我们也仿真了信道无误的情况。同时我们将考虑两节点群的大小相同与不同的结果。

二. 仿真流程图

如图 6-3(a)为程序的主框架图, A 群分组传输与 B 群分组传输大致相同, 这里仅列出 A 群分组传输的流程图如图 6-3(b)。

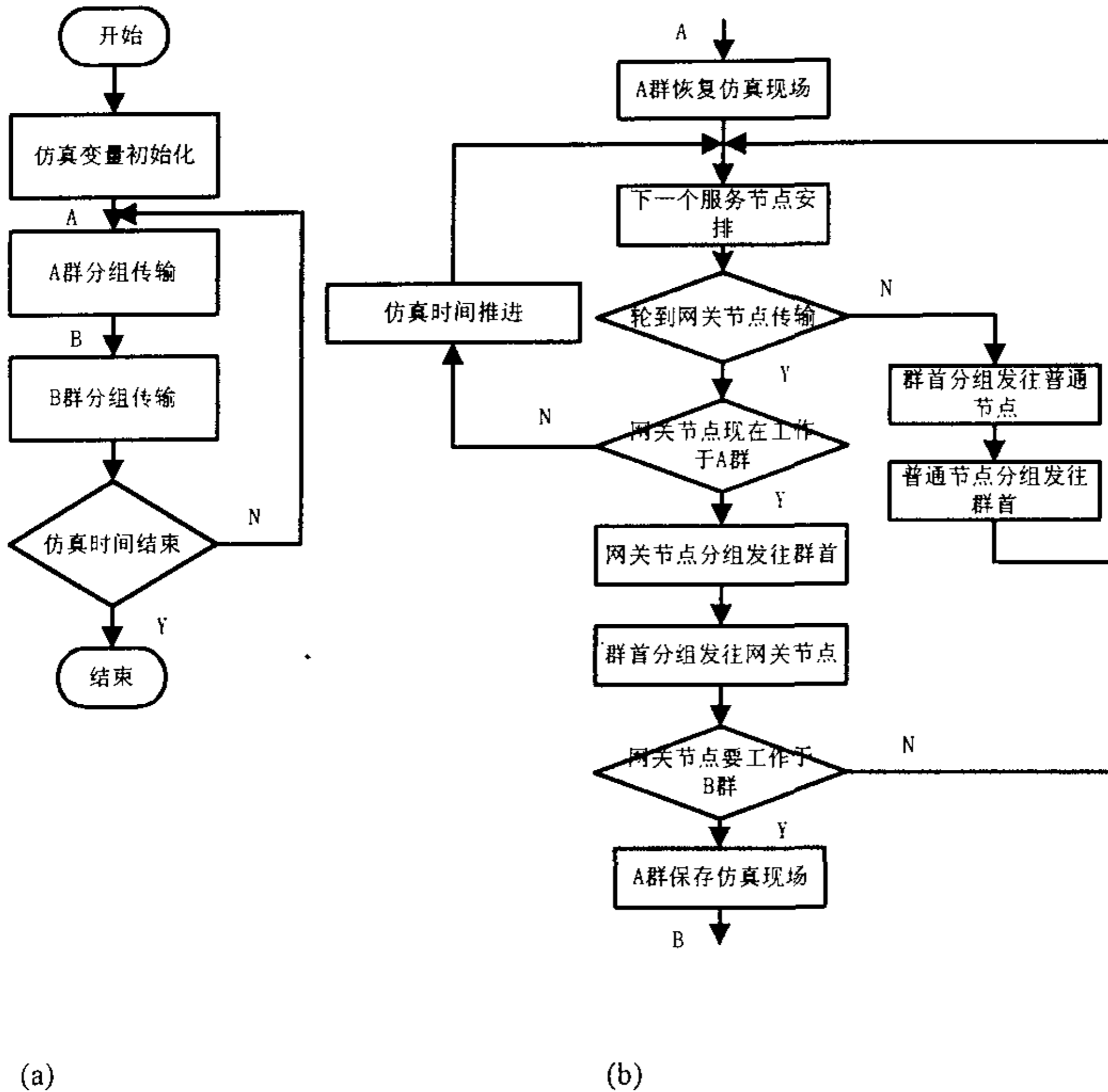


图 6-3 UPMA 流程图

三. 仿真结果及其分析

1. 两节点群大小一样。

各性能曲线如图 6-4, 6-5, 6-6 所示。A2A 表示 A 节点群内的节点分组发往 A 节点群内的节点, A2B 表示 A 节点群内的节点分组发往 B 节点群内的节点, 其余符号含义类似。

图 6-4 显示了高的负荷将产生较高的时延, 而信道的差错率影响不大。同时由于节点群间的分组需要经过多跳, 其分组平均时延远高于节点群内的

分组平均时延。图 6-5 说明了分组丢失率主要由提供的总业务负荷决定，同样由于节点群间的分组要多跳传输使得其分组因生存时间耗尽而丢弃的概率大于节点群内的分组，从而导致其平均分组丢失率大于节点群内的平均分组丢失率。图 6-6 显示了信道误码率对通过量的影响不大，因为相对于整个频带来说差错仅是很小的一部分。

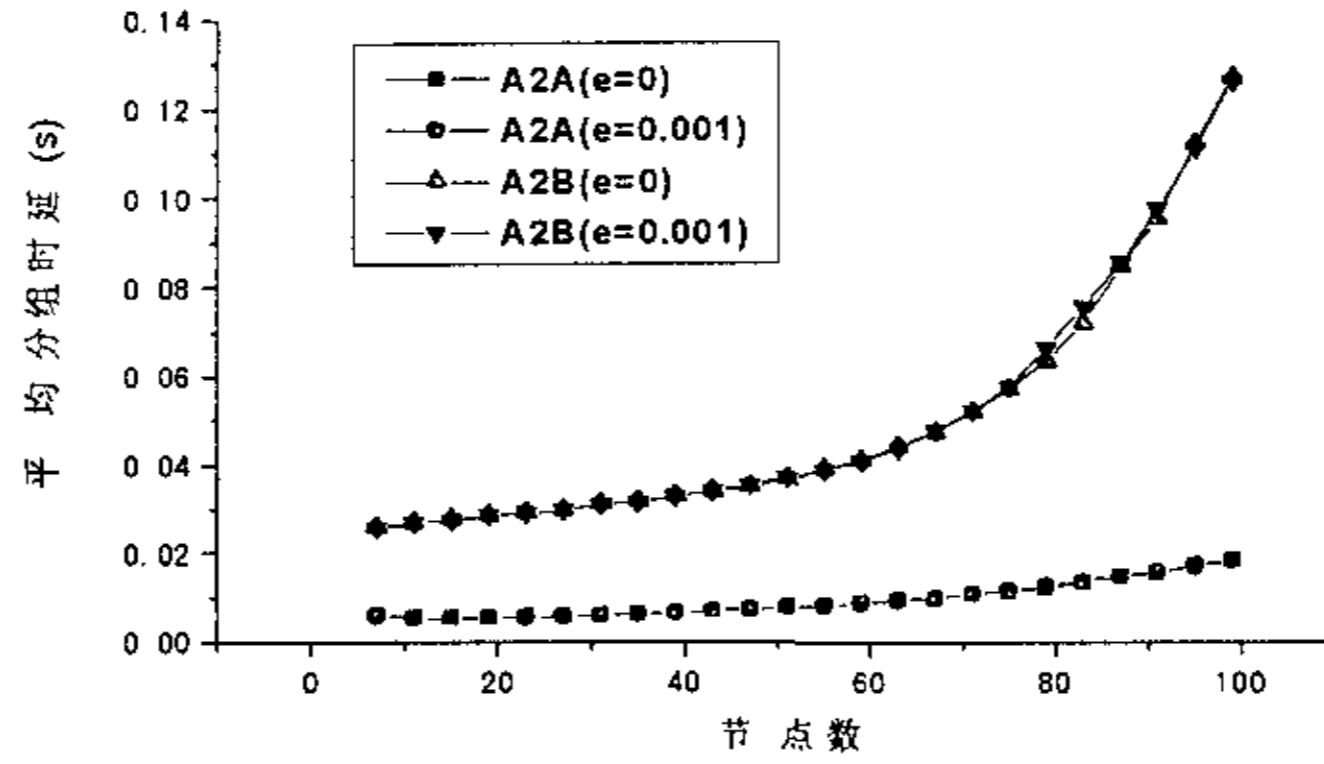


图 6-4 平均分组时延

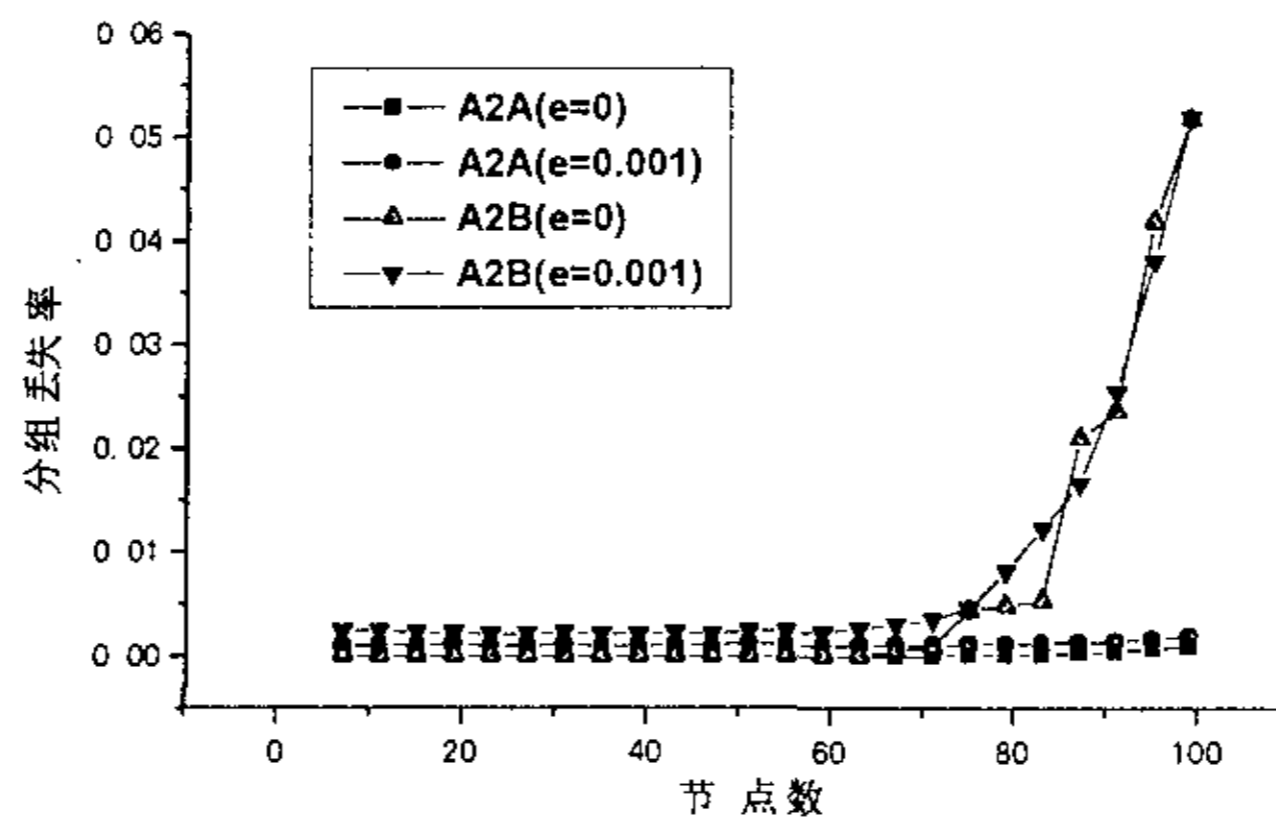


图 6-5 分组丢失率

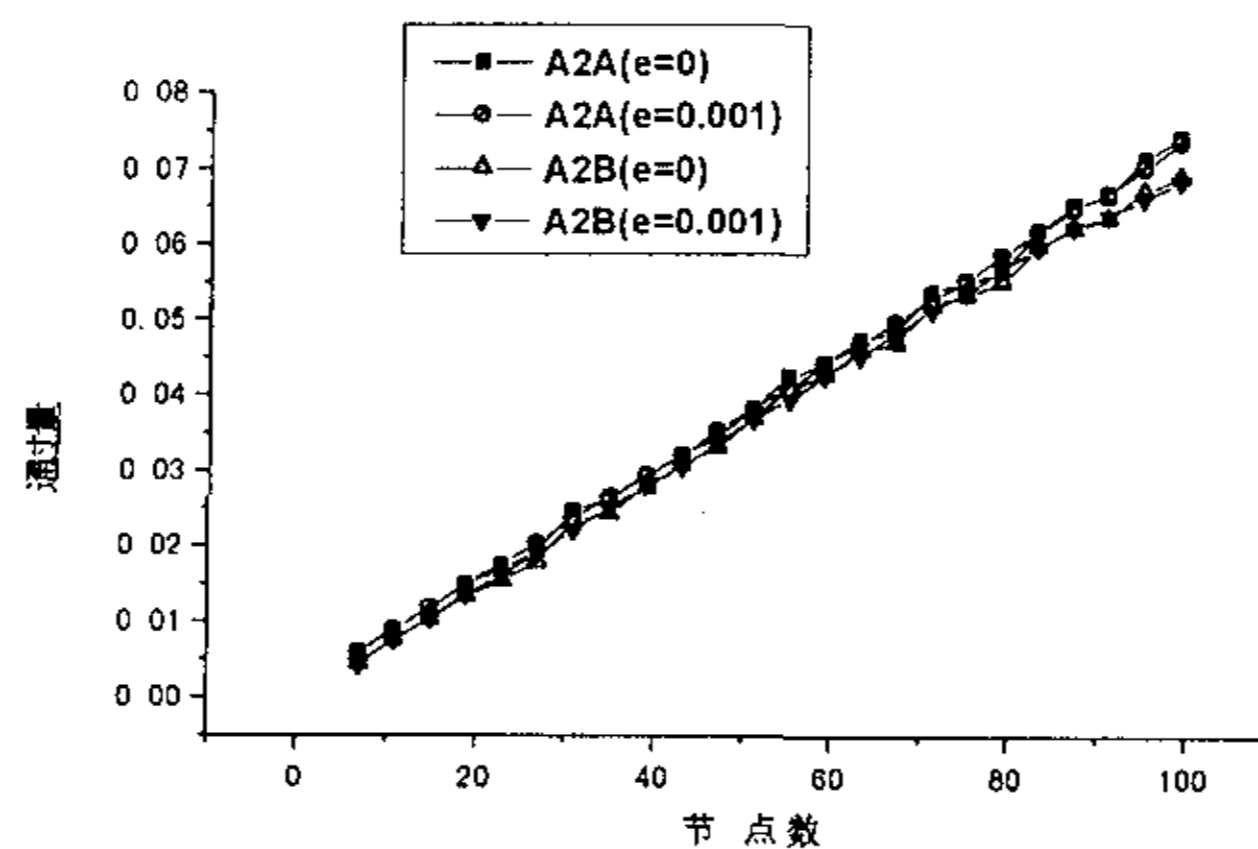


图 6-6 通过量

2. 两节点群大小不一样

本仿真假设节点群 B 的节点数为节点群 A 的节点数的两倍。性能曲线如图 6-7, 6-8, 6-9 所示。由于节点群 B 的节点数为节点群 A 的两倍, 所以节点群 B 内的通过量大致为节点群 A 内的两倍, 如图 6-7 所示。同时由于节点群 B 的总负荷大致为节点群 A 的两倍, 从而其平均分组时延略高于节点群 A 内的平均分组时延。在总业务负荷较轻(表现为节点数较少)时, 分组丢失率基本上没什么差别, 如图 6-8 所示。当业务负荷加重(节点数增多)时, 节点群 B 的平均分组丢失率略大于节点群 A, 而节点群间的平均分组丢失率远大于节点群内的平静分组丢失率。

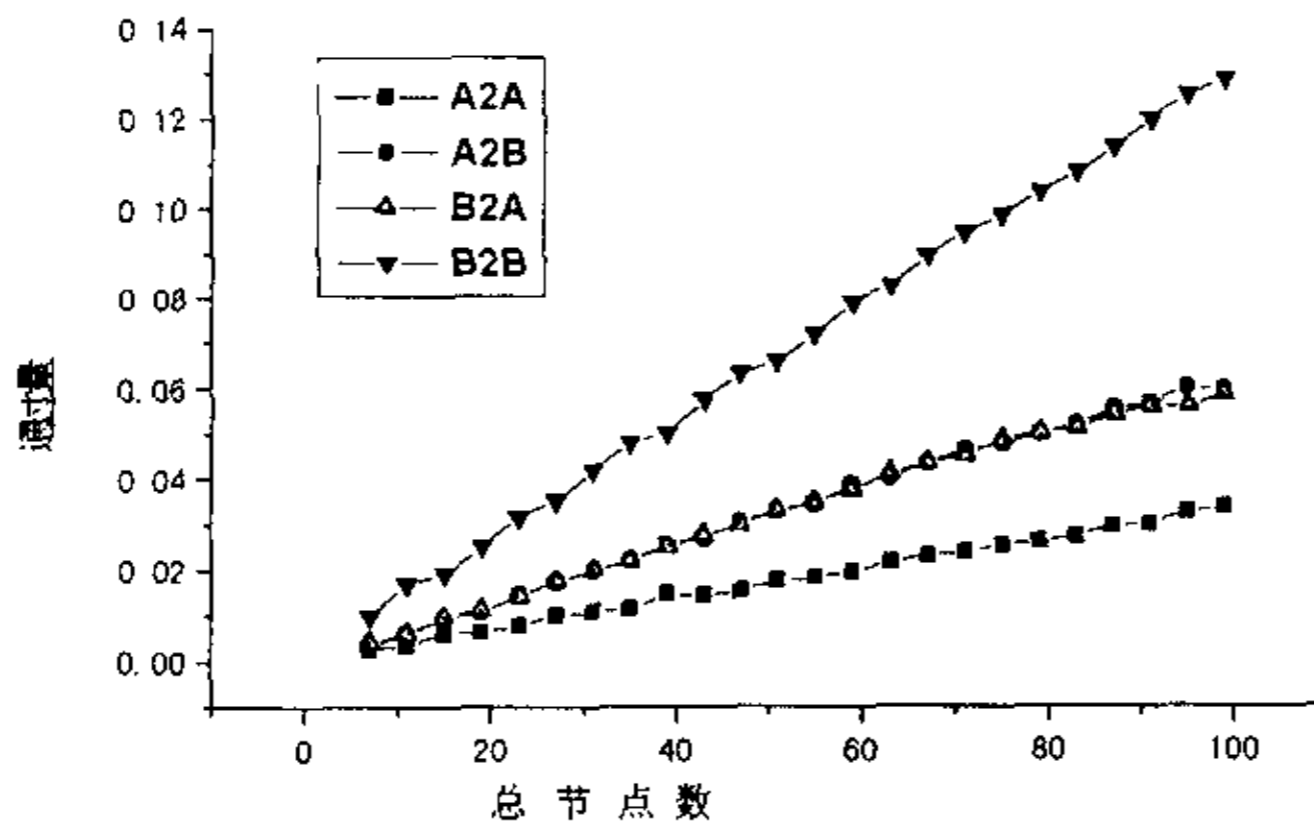


图 6-7 通过量

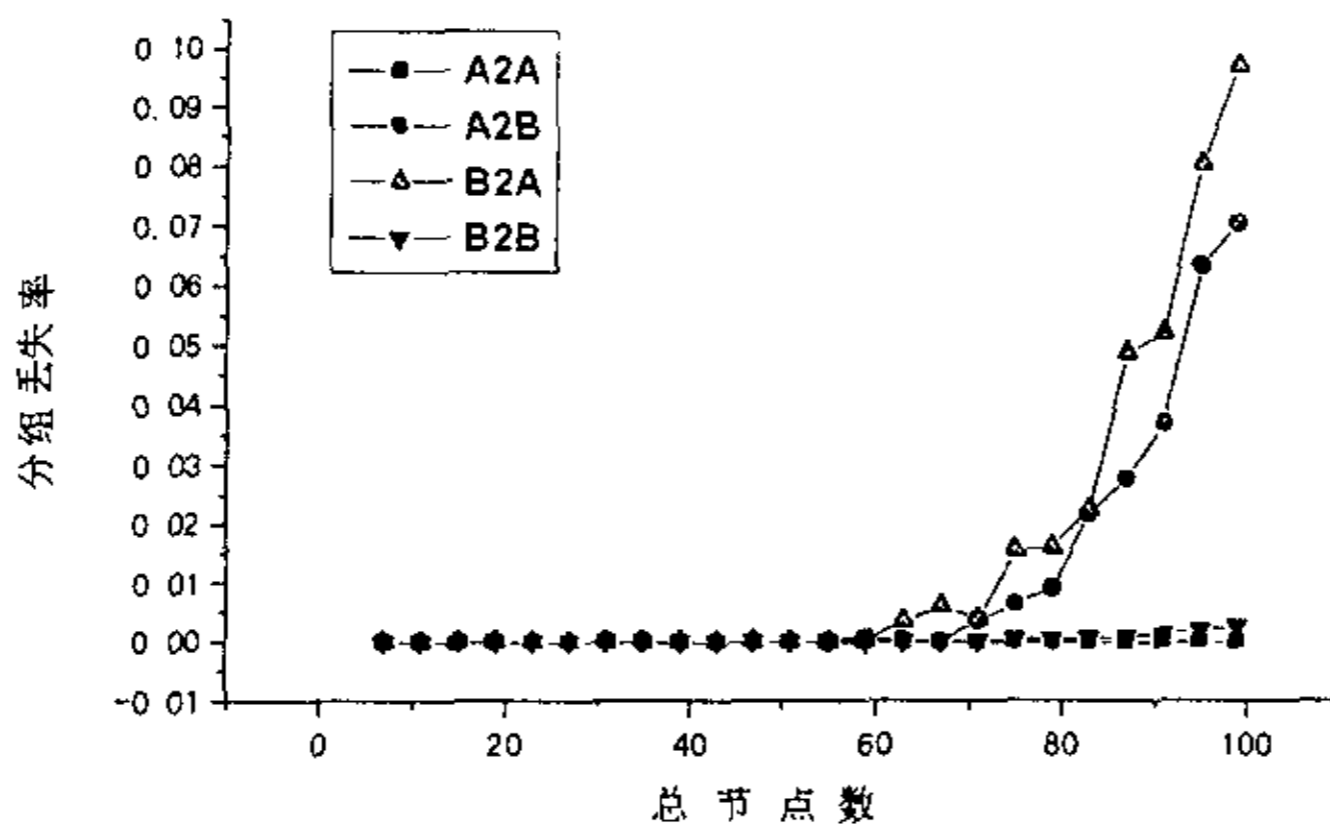


图 6-8 分组丢失率

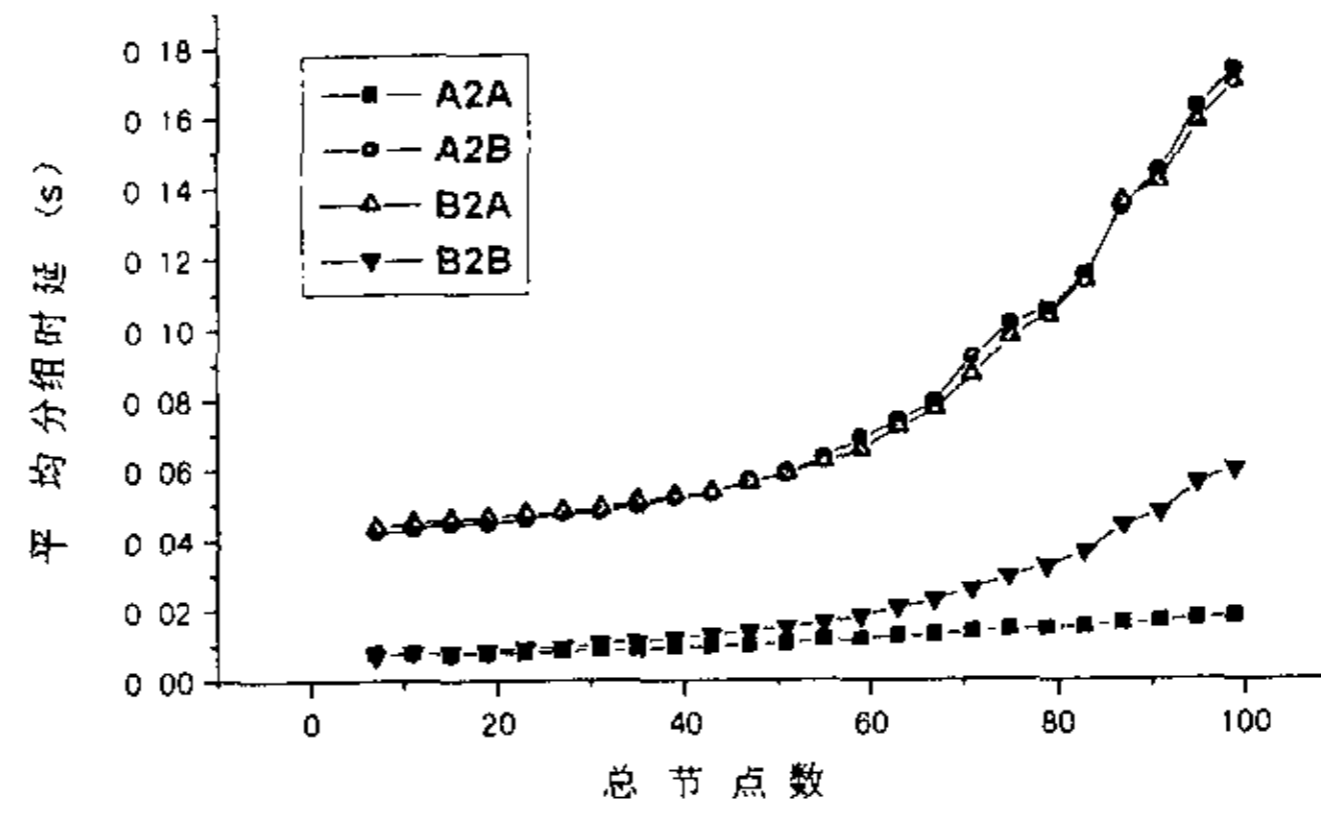


图 6-9 平均分组时延

结 束 语

过去几年中,因特网(Internet)和移动电话这两项技术的发展已经给亿万人的生活带来了直接影响。Internet 使人们能方便价廉地接用大量信息,移动电话打破了位置和通信接入之间的束缚。两种技术合在一起,使信息的接入不仅不受信息源的限制,而且不受接入者的位置限制。为此,无线接入技术得到越来越广泛的重视,各种接入解决方案纷纷登台亮相,从而使这一技术领域呈现出异常活跃的竞争态势。本文介绍了无线接入技术领域的概况,并着重研究了其关键技术之一——多址接入协议。分析了主要的多址接入协议的特征和优缺点,指出了多址接入协议研究的方向。最后详细描述了用于无线 Internet 接入的 UPMA 协议及应用,通过建立一种类似于 WWW 的业务源模型,给出了 UPMA 三种模式的仿真结果并分析了 UPMA 的性能。同时采取了两状态的无线信道差错模型,仿真分析了 UPMA 应用于无线 ad hoc Internet 接入的情况。结果表明在该类业务环境下,UPMA 协议能取得较满意的通过量和平均分组时延。

除此之外,还有一些亟待研究的工作:

- 对 UPMA 协议只是从基本框架上做了比较简化的仿真,还有待对该协议进行进一步的细化;考虑实际应用中所可能带来的额外开销。
- 协议仿真只考察了突发数据业务的情形,还有待进一步探索研究支持综合话音、数据及视频业务传输的情况。

致谢

本文是在我的导师陈家模教授的关怀下完成的。在整个硕士学习期间及工作中，他为我提供了良好的工作条件和宽松的环境，而且在生活上也无微不至的关心我。同时，我要特别感谢悉心指导我进行论文工作的李建东教授。他平易近人的态度、深厚的学术功底给了我深刻的印象。在此论文完成之际，谨向两位老师致以崇高的敬意和衷心的感谢。

感谢李维英老师、周亚健博士和西安电子科技大学信科所 101 室的其他老师、博士和硕士在论文完成过程中所给予的无私的帮助。

我也要感谢我的朋友们，谢谢你们给予我的快乐时光。

最后，我要感谢我的父母和亲人们。谢谢你们这么多年以来对我的关心和支持。

参考文献

- [1] Li Jiandong, Li Weiying and Yang Jiawei, User-dependent Perfect-scheduling Multiple Access(UPMA) For Wireless Internet Access, Future Telecommunications Forum'99, 7-8 December 1999 Beijing.
- [2] Li Jiandong, Li Weiying and Yang Jiawei, User-dependent Perfect-scheduling Multiple Access(UPMA) For Wireless Ad Hoc Internet Access, 2000 International Conference on Communication Technology Proceedings, August 2000, Vol2.
- [3] Lixin Wang and Mounir Hamdi, A Hybrid Adaptive Wireless Channel Access Protocol for Multimedia Personal Communication Systems, Wireless Personal Communications Vol13, Nos.1-2 May 2000.
- [4] M.Wang, Z.S.Wang, Wei Lu, J.L.Lin and D.R.Chen, Performance of a joint CDMA/PRMA protocol with heavy-tailed ON/OFF source, Wireless Networks Vol5 No.3(1999).
- [5] Tsan-Pin Wang, Chien-Chao Tseng and Shu-Yuen Hwang, A Fair Protocol For Fast Resource Assignment In Wireless PCS Networks, Wireless Networks Vol5 No.1(1999).
- [6] G.Anastasi and L.Lenzini, QoS provided by the IEEE 802.11 wireless LAN to advanced data applications: a simulation analysis, Wireless Networks Vol6 No.2(2000).
- [7] K.M.Sivalingam, J.-C.Chen, P.Agrawal and M.B.Srivastava, Design and analysis of low-power access protocols for wireless and mobile ATM networks, Wireless Networks Vol6 No.1(2000).
- [8] G.Anastasi,L.Lenzini and E.Mingozzi, Stability and Performance Analysis of HIPERLAN, IEEE INFOCOM' 98, Vol1.
- [9] Z.J.Haas and D.A.Dydon, The Dynamic Packet Reservation Multiple Access Scheme for Multimedia Traffic, ICC' 98, Vol3, pp1640.
- [10]D.Raychaudhuri, L.J.Frech, et al. WATMnet: A Prototype Wireless ATM System For Multimedia Personal Communications, IEEE JSAC, 15(1)(January 1997).
- [11]W.Willinger, M.S.Taqqu, R.Sherman, and D.v.Wilson, Self-similarity Through High-Variability: Statistical Analysis of Ethernet LAN Traffic at the Source Level, IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol5 No.1 1997 pp71-86.
- [12]P.Bhagwat, P.Bhattacharya, A.Krishna and S.K.Tripathi, Enhancing Throughput over Wireless LANs Using Channel State Dependent Packet Scheduling,

- INFOCOM' 96 Vol3.
- [13] Shuang Deng, Empirical Model of WWW Document Arrivals at Access Link, IEEE ICC' 96, pp1797-1802.
- [14] M.J.Karoi, Z.Liu and K.Y.Eng, Distributed-Queuing Request Update Multiple Access(DQRUMA) for Wireless Packet(ATM) Networks, Proc. ICC, pp1224-1233 June 1995.
- [15] James Gordon, Pareto Process As a Model of Self-similar Packet Traffic, GLOBECOM' 95, Vol3 pp2232-2235.
- [16] P.Pruthi and A.Erranilli, Heavy-Tailed ON/OFF Source behavior and Self-Similar Traffic, ICC' 95.
- [17] V.Paxson and S.Floyd, Wide Area Traffic: The Failure of Poisson Modeling, SIGCOMM' 94.
- [18] W.Leland, M.Taqqu and W.Willinger, On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic(Extended Version), IEEE/ACM Transactions on Networking 2(1), February 1994.
- [19] D.Raychaudhuri, ATM-based Transport Architecture For Multi-services Wireless Personal Communication Networks, IEEE JSAC, 12(8)(October 1994).
- [20] D.J.Goodman, R.A.Valenzuela, K.T.Gayliad and B.Ramamurthi, Packet Reservation Multiple Access for Local Wireless Communications, IEEE Transactions on Communications 37(8)(August 1989) pp885-890.
- [21] 李建东, 杨家玮, 《个人通信》, 人民邮电出版社, 1998。
- [22] 赵玮, 《系统仿真及其应用》, 西安电子科技大学出版社, 1989。
- [23] 冯锡生, 朱荣, 《无线数据通信》, 中国铁道出版社, 1997。
- [24] 盛友招, 《排队论及其在计算机通信中的应用》, 北京邮电学院出版社, 1998。
- [25] 聂景楠, 郑少仁, 宽带无线 ATM 网的媒体访问控制技术, 通信工程学院学报, 1999, vol13, No.4。
- [26] 吴文昱 等, 《无线接入技术原理与应用》, 人民邮电出版社, 1996, 9。
- [27] 梁晓辉, 张崇跃, 无线 Internet 接入技术, 电信技术, 2000, 4。