

# 移动 Ad Hoc 网络 MAC 协议研究<sup>\*</sup>)

何 敏<sup>1,2</sup> 刘心松<sup>1</sup> 赵东风<sup>2</sup>

(电子科技大学计算机科学与工程学院 8010 研究室 成都 610054)<sup>1</sup>

(云南大学信息学院 昆明 650091)<sup>2</sup>

**摘 要** MANET 是独立的网络自治系统,不依赖于固定主干网络,可提供有效的数据和多媒体通信服务。它使用无线通信技术,所有主机均可以移动。但是众所周知,无线系统是带宽受限系统,信道分配算法至关重要。提高无线资源的使用效率,提高系统的容量和传输质量,一直是研究的重要课题。本文对移动 Ad hoc 网络 MAC 接入控制协议的研究现状进行了综述,揭示了它们的特点和功能,比较了各自的贡献和不足。这些协议涵盖了目前能见到的绝大部分类型的 MAC 协议。最后对 MAC 协议研究的发展方向进行了展望。

**关键词** 无线移动自组织网络,媒体接入控制层,随机多址,轮询,多信道,预约

## A Review of MAC Protocol for Mobile Ad Hoc Networks

HE Min<sup>1,2</sup> LIU Xing-Song<sup>1</sup> ZHAO Dong-Feng<sup>2</sup>

(8010 division, School of Computer Science & Engineering, UEST, Chengdu 610054)<sup>1</sup>

(School of Information, Yunnan University, Kunming 650091)<sup>2</sup>

**Abstract** A MANET (Mobile Ad-hoc network) is an autonomous non-infrastructure network system of mobile hosts, which are connected with each other via wireless links. It can provide efficient services for data and multimedia applications. However, as we know that the wireless system is a band-limited system, so the channel allocation algorithm is very important. To improve the efficiency, capability and transmission quality of the wireless resource is the key research. This paper provides an overview of various MAC protocols for mobile Ad hoc network by presenting their characteristics and functionalities, and then provides a comparison and discussion of their respective merits and drawbacks, which cover most types of MANET MAC protocols. Finally, the future research directions are outlined.

**Keywords** Wireless Ad hoc network (MANET), MAC, Random multi-access, Polling, Multi-channel, Preservation

## 1 无线通信技术的发展

随着通信科技的不断发展,网络不仅在传输带宽上得到了飞速的发展,连接方式也有了极大的改变,无线通信已经成为目前世界上发展最快的网络连接方式。经过 10 年指数性的增长,今天的无线产业已经成为世界上最大的产业之一。在无线数据通信方面,从基于蜂窝网络的 CDPD, GPRS 到 Bluetooth, HomeRF, WLAN, 各种无线数据通信技术不断涌现,无线数据通信技术已经成为研究的热点。第三代移动通信系统(3G)的出现更使移动通信前进了一大步。同时,随着现代移动通信技术的发展,第四代移动通信系统标准也已提到了议事日程。

第四代移动通信技术的概念可称为宽带接入和分布网络,具有超过 2Mb/s 的非对称数据传输能力。它包括宽带无线固定接入、宽带无线局域网(BWLAN)、移动宽带系统和互操作的广播网络。在不同的固定无线平台和跨越不同频带的网络中,4G 可提供无线服务,并在任何地方宽带接入互联网(包括卫星通信和平面层通信),提供信息通信以外的定位定时、数据采集、远程控制等综合功能。同时,4G 系统还是多功能集成的宽带移动通信系统,是宽带接入 IP 系统。

无线网络多以多路复用信道作为通信的基础,与采用点到点连接的网络相比,存在一个关键的技术问题,即当信道的

使用发生竞争时,如何分配信道的使用权?在无线网络中,完成该功能的是数据链路层 DLC 的介质访问控制(MAC)子层。可以说,无线网络的性能(吞吐量、时延等)完全取决于 MAC 子层的接入协议。因而,制定适当的 MAC 子层规则,根据网络业务特性有效地配置信道资源,提高无线资源的使用效率,提高系统的容量和传输质量一直是研究的重要课题。

本文在回顾移动 Ad hoc 网络中 MAC 接入技术的基础上,阐述了移动 Ad hoc 网络 MAC 接入技术领域内取得的成果。以下各节的安排是:第 2 节回顾无线网络的基本接入方式;第 3 节评述 MAC 协议研究进展,分别评述了由 3 种基本接入方式发展出来的 4 种策略分类的 MAC 协议;第 4 节展示了 MAC 接入技术的发展前景;最后是总结。本文较全面地评述了移动 Ad hoc 网络 MAC 接入协议。

## 2 无线网络基本接入方式

MAC 层的中心论题是相互竞争的用户之间如何分配信道资源。多个终端共享同一个信道资源的方法称为信道接入方式,或称为多址方式。在无线局域网中,MAC 子层常用的多址机制可以分为以下 3 类:1) 固定分配接入。3 种基本的固定分配多址技术是 FDMA、TDMA、CDMA,它们的原则是把共享的一条信道分割成若干个相互独立的子信道,每个子信道又分配给一个或多个用户专用。2) 轮询接入。采用轮

<sup>\*</sup>) 国家自然科学基金(60362001)资助项目。何 敏 博士生,主要研究方向为计算机网络、宽带网络与通信;刘心松 教授,博士生导师,主要研究领域为宽带网络与通信、分布式并行操作系统、分布式并行数据库、分布式并行多媒体服务器、分布式并行防火墙等;赵东风 教授,博士生导师,主要研究方向为:随机多址通信、轮询多址通信等。

询(polling)的机制来提供无争用的服务。各站点可以公平地获取信道访问控制权,这种机制广泛应用于实时分布式系统中,如 token ring。3)随机竞争接入。IEEE802.11中支持的一种基本接入方式分布协调功能 DCF 就是随机竞争接入控制,所有无线终端站点都需要支持 DCF。它可以单独在 Ad hoc 网络中使用,也可以单独或者协同 PCF 在结构化网络中使用。DCF 是建立在 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)基础上的。其中 CA 表示冲突避免,这也是无线局域网和有线局域网(IEEE802.3 CSMA/CD)的主要区别所在。冲突避免机制实际是在无线终端站点发送信息前必须对信道进行预约,这种预约是通过请求发送/允许发送(RTS/CTS)机制实现的。采用这种预约机制可以有效地减少隐终端和暴露终端带来的影响。

各种 MAC 接入技术有其各自的适用范围。固定分配接入是对于用户有稳定的信息流需要传输的情况,具有相对高效率的通信资源利用率,例如在数字语音传输和数据文件传输或者传真时,情况的确如此。然而,如果待传输的信息不连续或者本质上是突发性的,那么采用固定分配接入将会导致通信资源在会话的大部分时间里处于浪费状态,而且也不适用于 Ad hoc 网络。随机竞争接入充分考虑到节点之间的公平性,可以在一定方式下处理节点的发送信息。但当系统的业务量负载达到一定的值时,会造成碰撞的急剧增加,浪费大量的网络资源,增加了分组等待服务的延迟,引起网络性能急剧恶化。轮询接入可以有效解决以上两种接入中存在的问题,但在小业务量及业务量不均衡的情况下,由于无选择性地依次服务,使得系统延时增大,而且需要中心控制的支持,控制过程较为复杂。

### 3 MAC 协议的研究进展

#### 3.1 轮询策略

轮询接入与随机竞争接入的策略不同,它通过集中的控制而实现碰撞的避免,而且能较好地控制分组的等待时延,因而在计算机和通信等领域系统中有广泛的应用,其研究一直得到众多学者的重视。R. B. Cooper 较早提出了轮询系统的服务方式<sup>[1]</sup>。而后, C. I. Oliber 等对基本的轮询系统做了详尽的精确分析<sup>[2]</sup>。Oliver 和 Konheim 等研究了轮询系统的稳定性<sup>[3]</sup>。P. R. Kuymar 利用线性编程计算工具处理排队网络模型,得出网络性能结果<sup>[3]</sup>。Ferguson 等人给出了轮询系统守恒定律,并且以此求出了系统平均等待时间<sup>[4]</sup>。Takagi、Bux、Rubin 和 Konheim 等人采用嵌入马尔可夫链和后代集(descendant set)等数学工具,对诸如限定式、门限式和穷尽式等服务方式下的轮询系统做了较深入的研究<sup>[5~7]</sup>。Hwang 则利用到达流平均属性(Poisson arrival average property)推导出混合服务方式下的轮询系统平均等待时间,并且采用遗传算法优化了服务方式<sup>[8]</sup>。近年,伯克利大学<sup>[9]</sup>又提出了一种基于 PCF 的适用于 Ad hoc 网络的轮询接入控制协议 WTRP,它具有较强的稳定性和健壮性,但是节点间的查询转换时间会导致系统性能下降。文<sup>[10,11]</sup>提出了将没有信息分组服务请求的节点从查询表中清除来提高系统资源利用效率的设想,但未能得到系统的平均等待时间等关键性能参数的解析结果。文<sup>[12~16]</sup>对多址通信协议、轮询多址通信系统等领域进行广泛深入的研究,得到了在时间连续性、时间离散性的轮询多址系统的平均运行周期和平均排队队长等性能参数,为分析 MAC 协议提供了理论依据。

#### 3.2 随机竞争冲突避免策略

在分布式无线网络中,传统的多址接入协议主要基于随

机接入方式,如载波监听多址接入(CSMA)协议。然而,由于分布式无线网络中多跳结构情况下隐藏终端的存在,CSMA 协议的性能将大大降低。为了解决或减少隐藏终端所带来的分组碰撞,出现了许多利用 RTS/CTS 对话形式进行碰撞避免(CA)的新协议。

DSA+<sup>[18]</sup>和 DQRUMA<sup>[19]</sup>使用的是基于带冲突避免和分解的随机多址接入技术,它们可以克服固定分配接入的资源浪费问题。然而,当业务量增大时,分组碰撞的概率会加大,也就增大了分组时延,降低了网络的吞吐量。无线网络为分布式机构时,还存在隐终端和暴露终端问题,会增加分组碰撞的几率。冲突避免多址接入 MACA 协议<sup>[20]</sup>,MACAW<sup>[21]</sup>和 IEEE 802.11MAC 标准<sup>[22]</sup>等,协议采用了单信道 RTS/CTS 对话形式来减少由于隐终端和暴露终端引起的碰撞,这是由于在实际碰撞中 RTS/CTS 短分组代替了较长的数据分组。然而,载波检测技术和收方所发的 CTS 和应答(ACK)分组引入了暴露终端(即在发方通信范围内却又在收方通信范围之外的节点)问题<sup>[21,23]</sup>。由于 RTS 分组在较大范围内预约了信道资源而使得暴露终端不能在可能可用的信道上收发分组,因此暴露终端的引入大大降低了网络的信道利用率。文<sup>[24~26]</sup>提出了一种新的随机多址分析方法——平均周期分析方法,分析了连续时间和离散时间 ALOHA 和 CSMA 等的系统性能,为研究随机多址系统提供了一种全新的分析思路。文<sup>[27]</sup>提出了一种在扩频分组无线网络中基于捕获的接入协议。当一个时隙中存在多个干扰分组时,该方法仍有捕获到某个分组的可能,因此在系统高负载的情况下能有效地利用资源。文<sup>[28]</sup>针对现场总线 CAN 技术提出利用分布式动态优先权队列和非破坏性优先权逐位仲裁,解决 CSMA 方式中的冲突-重发问题,使帧冲突的过程变为优先权仲裁的过程,提高了信道的利用率和解决了帧传输的延时不确定性。文<sup>[29]</sup>发展了 p 坚持 CSMA 协议,提出了关于概率 pp 的自适应算法。该算法基于对网络流量的分析,在 OSI 物理层通过信道信息量的在线实时检测,根据反馈控制的原理,在数据链路层动态地调整控制输入参数,从而控制站点发送分组数据帧的行为,使信道处于最佳的传输状态,提高信道的效率。文<sup>[30]</sup>提出了用于移动 Internet 随机接入的一种新方式,基站调控的 slotted-ALOHA 随机接入方式,该方式与现行的移动通信随机接入方式进行比较,能显著提高随机接入性能,且使用代价微小,易于实际使用。图 1 给出了几种随机多址协议的吞吐量随网络负载的变化情况。

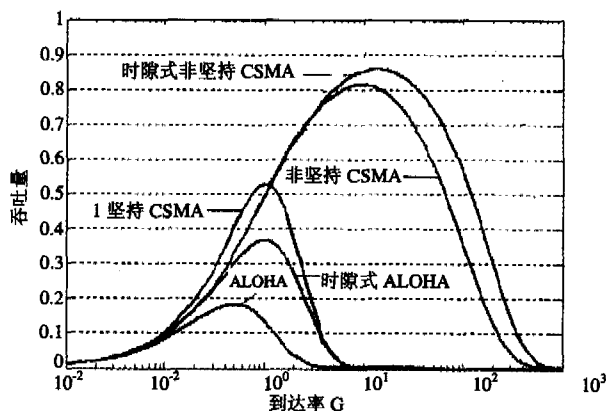


图 1 几种随机多址协议吞吐量随网络负载变化

#### 3.3 多信道和预约相结合的策略

利用多信道和预约相结合的方式可以辅助 RTS/CTS 类

协议解决隐终端和暴露终端以及侵入终端问题。诸如 DC-CA<sup>[31]</sup>、信道跳变多址接入(CHMA)协议<sup>[32]</sup>、跳预约多址接入(HRMA)协议<sup>[33]</sup>、多信道碰撞避免和分解的多址接入(CARMA-MC)协议<sup>[34]</sup>和冲突避免多址接入(MACA-CT)协议<sup>[35]</sup>，均采用在公共信道上随机竞争预约而在业务信道上传输业务的方法，这样可以彻底避免在业务信道上(即传输数据和 ACK 分组时)出现碰撞的可能，增大暴露终端的有效信道利用范围，并且进一步降低隐藏终端的碰撞区间。不过，它们所需要的信道非常多，存在不同程度的信道浪费问题。自适应获取冲突避免 AACA 多址接入协议<sup>[17]</sup>，发展了多信道和预约相结合的思想，通过各节点竞争公共信道，利用 RTS/CTS 对话形式来预约各业务信道。成功预约后的分组传输不会受到其他节点的干扰。采用异步工作方式，可以有效使用为数不多而且确定的信道。

### 3.4 随机多址协议和新技术、新网络的结合与发展

UPMA<sup>[36,37]</sup>提出依据用户妥善安排的多址接入协议，主要考虑了在无线 Internet 网络中出现的点对点、星型和全连通型拓扑的情况，并将 UPMA 协议从理论推广到了 Ad hoc 网络中。其指导思想是仅有发送分组的节点才竞争接入使用信道资源，无业务发送的节点将立即被取消占用信道的资格，因此它极大地提高了信道的使用效率。图 2 给出了 UPMA 协议在 Ad hoc 中的性能比较。文[38]讨论了主动重发的 DS/CDMA ALOHA 系统，将 CDMA 与随机多址结合，明显改善系统的性能。文[39]研究了扩频技术与 ALOHA 技术相结合的 SAMA 多址接入协议的性能。理论分析和实验表明，这种宽带随机多址接入技术能够大大提高网络吞吐量，显著改善分组传输时延，具有较好的性能。文[40~43]讨论了将预约 ALOHA 和 TDMA 结合的 PRMA 协议。该协议首先利用 ALOHA 竞争空闲信道(时隙)，竞争成功后，终端以 TDMA 方式共享信道。这种将固定多址与随机多址相结合的协议提高了系统吞吐量。文[44]进一步讨论了 PRMA 协议，分析了 PRMA 协议中影响系统性能的原因，提出了冲突削弱分组预约多址协议 CR-PRMA。该协议将 PRMA 中的空闲时隙分裂成多个小空闲时隙，减少了冲突发生可能性和语音分组丢失概率，提高了系统通过率，如图 3 所示。文[45, 46]阐述了 Ad hoc 网络中 FAMA、DBTMA 和 UPMA 等几种随机接入协议，对比了这几种协议的优缺点和适用范围。文[47]将 FAMA 和 MACA 相结合，提出了一种应用于 Ad hoc 中的有冲突避免的流量自适应多址接入协议(FA-MACA)。它不仅可以避免隐藏终端等问题，同时可以根据网络当前的流量自适应地调整接入时延，尽可能地减少碰撞。文[48, 49]又提出了一种随机竞争预约发送和妥善轮询的思想。它基于有效竞争预约接入、无冲突轮询传输，能够保证发送节点快速接入信道，从而大大提高信道的使用效率，提供较高的通过率、较低的平均分组时延和较小的平均分组丢失率。

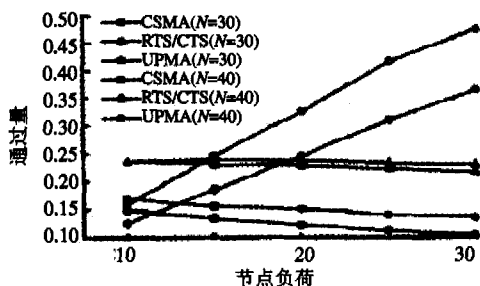


图 2 UPMA 协议在 Ad hoc 中的性能比较

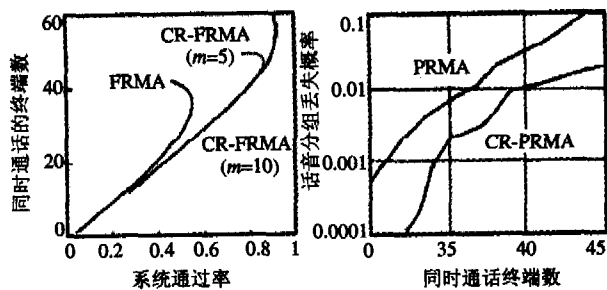


图 3 CR-PRMA 与 PRMA 的性能比较

## 4 MAC 接入技术的发展趋势

随着无线通信技术的发展，移动通信业务从传统的话音业务向以 Internet 接入和多媒体业务为主方向发展的趋势也已清晰可见。未来移动通信的目标在于建立一个无处不在的全 IP 分组数据无线通信系统，联合优化时间、频率、空间、功率等资源的角度出发，结合多媒体业务信道特性、多种服务质量(QoS)需求和多用户应用环境，提供无缝连接的高质量无线服务。

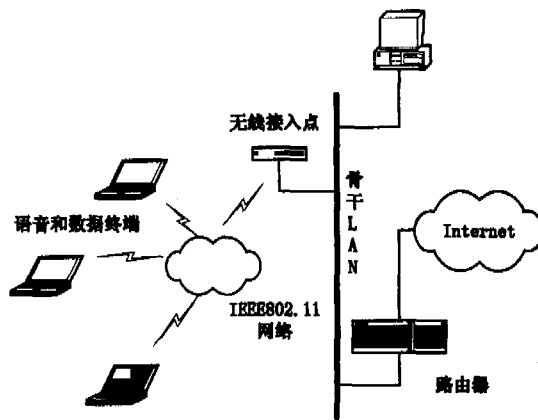


图 4 在无线网络里使用语音和数据终端的系统

图 4 表示了一个多媒体应用的无线通信系统的一般框图，其中有语音、数据、流媒体等终端与 AP 通信。对于时延敏感的业务量，为了保证其服务质量，必须控制其时延以及时延抖动。例如对于语音业务数据流，其传输时延若超过 24μs 就必须采用回声抵消器；对于视频业务数据流，如果数据分组的传送超过其所允许的时延，那么该数据分组的传送是没有意义的。不同类型的业务，对丢失率的要求也不一样，如对于普通的数据业务传送，数据分组丢失率要求不是特别严格，因为丢失的数据分组可以进行重传。而对于银行间电子转账业务，虽然对时延和吞吐能力无严格要求，但却要求差错率为零。因为在这种业务中，一个二进制位出错，就可能引起整个系统无法使用。对于实时的数据和图像业务，则要求数据分组丢失率必须低于某个门限，才能保证其质量不受影响。对于这种类型的业务，重传丢失的信息没有任何作用。经验表明，在视频会议的运用中，为使会议参加者不受影响，延迟最多只能为 150ms，另外大于 20~40ms 的时延抖动会造成视频图像的闪烁。

**结束语** 本文较全面地回顾了与 Ad hoc 相关的各种 MAC 协议，根据不同的策略对协议进行了分类，并对各种类型的协议进行了分析和比较，指出了各自的特点。最后分析了 MAC 接入协议的发展前景。我们发现，目前的各种 MAC

协议各有其长处和短处,没有一种单一算法能适合于所有情况,理想的接入控制方式是系统在均衡大业务负载时具有传统周期查询接入控制的稳定性能,而在小业务和均衡业务负载时具有小的延时性能和公平性。因而,适用于多种业务的综合服务系统的 MAC 协议,必须混合各种规则和策略,自适应满足不同的 QoS 需求。

### 参考文献

- Cooper R B. Queues Served in Cyclic Order. *Bell Syst Tech J*, 1970,49(3),399
- Oliber C I, Cheng X. Stability condition for multi-queue systems with cyclic serve [J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 1988,33(1):102~103
- Kumar P R. *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, 1995,13(6): 970
- Rubin I. Media access control for high-speed local area and metropolitan area communication networks [J]. *Proceedings of IEEE*, 1990,78(1):168~202
- Tagagi H. Queuing analysis of Polling system [J]. *ACM Computing Surveys*, 1988,20(1): 5~28
- Bux W. Token-ring local area networks and their performance [J]. *Proceedings of IEEE*, 1989,77(1):168~202
- Konheim A G. Descendent set; an efficient approach for analysis of polling systems [J]. *IEEE Transaction on Communication*, 1994,42(8):1245~1253
- Hwang L C. An exact analysis of an asymmetric polling system with mixed service discipline and general service order [J]. *Computer Communication*, 1997,20(10):1293~1299
- Ergen M, Varaiya P, Walrand J. WTRP-wireless token ring protocol. URL: <http://wow.eecs.berkeley.edu/wtrp>, 2002. 12~108
- Crow R P, et al. IEEE 802. 11 Wireless Local Area Networks. *IEEE Commun. Mag.*, 1997, 35(9):116~126
- Sharon O, Altman E. An efficient polling MAC for wireless LAN. *IEEE/ACM Trans. Networking*, 2001,9(4):439~451
- 赵东风,郑苏民. 周期查询式门限服务排队系统中信息分组的延迟分析[J]. *通信学报*, 1994,15(2):18~23
- 赵东风,郑苏民. 查询式完全服务排队模型分析[J]. *电子学报*, 1994,22(5):102~107
- 赵东风,李必海. 周期查询式限定服务排队系统研究[J]. *电子科学学报*, 1997,19(1): 44~49
- 赵东风. 两类周期查询式完全服务排队系统研究[J]. *电子科学学报*, 1999, 21(2):262~266
- 李俊生,彭兵,赵东风. 非对称周期查询限定服务系统解析[J]. *电子学报*, 2001,29(4): 503~505
- 刘凯,李建东. 基于多信道预约可冲突避免的多址接入协议[J]. *通信学报*, 2002,23(10):25~32
- Anastasi G, Lenzini L, Mingcezi E, et al. Mac protocols for wide-band wireless local access; Evolution toward wireless ATM. *IEEE Personal Communication*, 1998,5(5):53~64
- Ayanoglu E, et al. Mobile information infrastructure. *Bell Labs Technical Journal*, 1996,1(2): 143~164
- Karn P. MACA-A new channel access method for packet radio. In: *Proc. ARRL/CRRL Amateur Radio 9th Computer Networking Conference*, ARRL, 1990. 134~140
- Bharghav V, Demers A, Shiker S, et al. MACAW; a media access protocol for wireless LANs [A]. In: *ACM SIGCOMM'94 [C]*. London, UK, October 1994. 212~225
- IEEE Standard 802. 11. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications [S]. 1999
- Deng J, Haas Z J. Dual busy tone multiple access (DBTMA); a new medium access control for packet radio networks [A]. In: *IEEE ICUPC'98 [C]*. Florence, Italy, October 1998. 973~977
- 赵东风,等. 一种新的时间连续随机多址系统分析方法研究[J]. *电子科学学报*, 1999,20(1):27~41
- 赵东风. 时隙式随机争用多址系统分析方法研究[J]. *通信学报*, 1999,20(8):80~85
- 赵东风,李必海,郑苏民. 一种新的时隙式随机多址系统分析方法研究. [M] *电子科学学报*, 1997,19(6):814~819
- 郭凯,卫国,朱近康. 一种基于捕获的扩频分组无线网 MAC 层协议及其性能分析. [J] *通信学报*, 2003,24(8):155~160
- 薛雷,李德华,关景火. 基于分布式动态优先权队列实时可调的 MAC 协议[J]. *通信学报*, 2003,24(5):64~71
- 自适应 p-持续 CSMA/CD 介质访问控制策略[J]. *通信学报*, 2003,24(8):161~167
- 张兆丰,韦岗. 用于移动 Internet 随机接入的一种新方式[J]. *通信学报*, 2003,24(4): 9~16
- Bharghavan V. Performance evaluation of algorithms for wireless medium access. In: *Proc. IEEE Performance and Dependability Symposium'98*, Raleigh, NC. 1998
- Tzamaloukas A, et al. Channel-hopping multiple access [A]. In: *IEEE ICC'2000 [C]*. New Orleans, Louisiana, June 2000. 415~419
- Tang Z, Garcia-Luna-Aceves J J. Hop-reservation multiple access (HRMA) for ad-hoc networks [A]. In: *IEEE INFOCOM'99 [C]*. New York, March 1999. 194~201
- Garces R, Garcia-Luna-Aceves J J. Collision avoidance and resolution multiple access for multichannel wireless networks [A]. In: *IEEE INFOCOM'2000 [C]*. Tel Aviv, Israel, March 2000. 595~602
- Joang M, Lu I. Spread spectrum medium access protocol with collision avoidance in mobile ad-hoc wireless networks [A]. In: *IEEE INFOCOM'99 [C]*. NY, March 1999. 776~783
- Li Jiandong, et al. User-dependent perfect-scheduling multiple access (UPMA) for wireless internet access [A]. In: *Future Telecommunications Forum [C]*. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 1999. 59~63
- Li Jiandong, et al. User-dependent perfect-scheduling multiple access (UPMA) for wireless ad hoc Internet access [A]. In: *Proc. WCC 2000/ICCT 2000 [C]*. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2000. 1714~1717
- 王映民,毕见鑫,易克初. 主动重发的 DS/CDMA ALOHA [J]. *通信学报*, 2001,22(2)
- 李建东,刘增基,郭峰,等. 基于 ALOHA 的宽带接入技术研究 [J]. *电子学报*, 2000,28(10):86~88
- Goodman D J. Packet reservation multiple access for local wireless communications. *IEEE Trans. Commun.*, 1989,37(8):885~890
- Nanda S. Performance of PRMA; A packet voice protocol for cellular system. *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 1991,40(3):584~598
- Goodman D J, Wei S X. Efficiency of packet reservation multiple access. *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 1991,40(1):170~176
- 李建东,李明远,纪红. 蜂房移动通信系统分组预约多址协议的性能. *电信科学*, 1995, 11(9):22~28
- 李明远,朱莹,李建东,等. 冲突消弱分组预约多址协议及其性能分析[J]. *电子学报*, 1999, 27(4):132~134
- Chen W, Jain N, Singh S. ANMP: Ad Hoc Network Management Protocol [J]. *IEEE J Select Areas Commun*, 1999,12(8): 1506~1531
- 赵志峰,郑少仁. Ad hoc 网络信道接入协议[J]. *电信科学*, 2003,19(1):26~30
- 盛敏,李建东,李维英. 应用于 Ad Hoc 网络中的一种新型多址接入协议[J]. *西安电子科技大学学报*, 2002,29(6):713~715
- 张文柱,李建东,刘凯. 依据用户妥善安排的多址接入协议在分布式无线网络中的性能研究. *电子学报*, 2002,30(6):1175~1179
- 刘凯,李建东,翁继伟. 移动分布式无线网络中具有 QoS 保证的 UPMA 协议. *电子与信息学报*, 2003,25(3):370~376