

文章编号: 1009-3443(2001)03-0047-05

Ad hoc 网络信道接入技术研究

赵志峰, 郑少仁

(解放军理工大学 通信工程学院, 江苏 南京 210016)

摘要: Ad hoc 网络是一种特殊的对等式网络。传统的基于固定的或有中心的网络的协议不能满足 Ad hoc 网络的需要。首先研究了 Ad hoc 网络信道接入协议要考虑的隐终端问题和暴露终端问题, 并给出了一种可能的双信道解决方案。在分析了现有的两种退避算法后, 提出使用退避计数器广播加信道争用估计技术来消除不公平现象。在这些结果的基础上, 提出了一种新的信道接入协议。

关键词: Ad hoc 网络; 隐终端; 暴露终端; 退避算法

中图分类号: TN925.93; TP391.9 **文献标识码:** A

Research about Ad hoc Network Channel Access Technology

ZHAO Zhi-feng, ZHENG Shao-ren

(Institute of Communications Engineering, PLA Univ. of Sci. & Tech., Nanjing 210016, China)

Abstract: Ad hoc network is a kind of special peer-to-peer network. Those custom protocols based on fixed or centralized network can't be used by Ad hoc network. First, this paper analyzes the hidden terminal problem and exposed terminal problem and proposes one possible dual channel method. After the analysis of two current backoff algorithms, the author describes the method to get rid of the unfairness by using backoff counter advertisement and channel contention estimation. Based on these results, the author presents a new channel access protocol.

Key words: Ad hoc network; hidden terminal; exposed terminal; backoff algorithm

Ad hoc 网络是一种特殊的对等式网络。它使用无线通信技术, 网络中的结点互相作为其邻居(在直接通信范围内的结点)的路由器, 通过结点转发实现结点之间的通信。它又被称为多跳网络(Multi-hop network)或自组织网络(Self-organized network)。Ad hoc 网络具有无中心、自组织、可快速展开、可移动和多跳等特点。这些特点使得它在战场、救灾等特殊场合的应用日渐受到人们的重视。

由于 Ad hoc 网络的特殊性, 基于固定的或有中心的网络协议不能满足 Ad hoc 网络的需要。蜂窝移动通信系统中使用的有中心的信道接入技术和传统的基于共享广播信道的信道接入技术无法直接应用到 Ad hoc 网络中。在有中心的信道接入技术中, 终

端在基站的控制下接入信道。而 Ad hoc 网络中没有类似基站的控制实体。传统的基于共享广播信道的接入技术(ALOHA, CSMA(Carrier Sense Multiple Access)系列)只能在一跳共享的信道(一个站点发送, 所有站点都可以听到)上使用。而 Ad hoc 网络的信道是多跳共享的(一个站点发送, 并非所有站点都可以听到), 因而需要专门设计适用于 Ad hoc 网络的信道接入协议。

1 隐终端和暴露终端问题

目前几乎所有的 Ad hoc 网络信道接入协议都使用随机接入技术。ALOHA, 时隙 ALOHA 和 CSMA 系列都是经典的随机接入技术。由于 Ad hoc 网络的多跳特性, 单纯使用 CSMA 技术会产生隐终端

(Hidden terminal)问题和暴露终端(Exposed terminal)问题。

1.1 隐终端

隐终端是指在接收者的通信范围内而在发送者通信范围外的终端(见图1)。隐终端因听不到发送者的发送而可能向接收者发送报文,造成报文在接收者处碰撞。碰撞后发送者要重传被碰撞破坏的报文,从而降低了信道利用率,增加了系统时延。所以,Ad hoc网络信道接入协议必须解决隐终端问题。

在图1中,当A向B发送数据时,C感知不到A的发送。如果C此时向B发送数据就会产生碰撞,C成了隐发送终端(隐终端C作为发送者)。当A向B发送数据时,C显然不能向B发送。因为C在A的通信距离之外,A无法通知C它在发送数据。

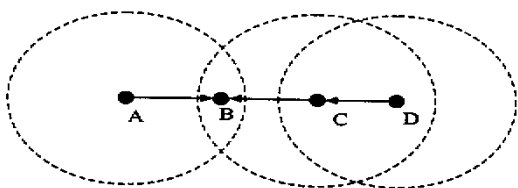


图1 隐终端问题

Fig. 1 Hidden terminal problem

所以要想让C知道A在向B发送,可以让B在接收数据之前通知C。一种可能的解决方案是在每次发送数据之前,通信双方先使用控制报文进行握手,听到回应握手信号(由接收者发送的)的结点必须延迟发送。例如当A要向B发送数据时,A先向B发送RTS(Request To Send);B收到RTS后,回应CTS(Clear To Send);A收到CTS后开始向B发送数据(如果A收不到CTS,A认为发生了冲突,超时重发RTS)。这样,隐终端C能够听到B发送的CTS,知道A要向B发送数据,C延迟发送。这就解决了隐发送终端问题。

若采取这种方案,当C听到B发送的CTS而延迟发送时,如果D向C发送RTS请求发送数据。因为C此时不能发送任何信息,所以D就收不到来自C的CTS。这被称为隐接收终端问题(隐终端C作为接收者)。D无法判断是发生了报文冲突,还是C没有开机,还是C是隐终端。D只能认为报文冲突,超时后重新向C发送RTS。显然D在A和B通信期间不可能收到来自C的CTS。这造成了不必要的重发,浪费了带宽。当系统只有一个信道时,隐接收终端问题是无法解决的。因为在单信道的情况下,C发送的任何信号都会造成B处的报文碰撞。一种

可能的解决方法是C通过一个带外信号,通知D它此时不能发送,正处于延迟发送状态,D可以先处理其它任务。另一种方法是如果系统有数据信道和控制信道,当A和B在数据信道上交互数据信息时,C可以通过控制信道与D交互控制消息。控制消息交互成功后,D可以通过数据信道向C发送报文而不会产生冲突。

由此可见,在使用单信道的网络中,不可能同时解决隐发送终端和隐接收终端问题。要想完全解决隐终端问题,数据和控制报文必须不同的信道上分开传送。

1.2 暴露终端

暴露终端是指在发送者的通信范围之内而在接收者通信范围之外的终端(见图2)。暴露终端因听到发送者的发送而延迟发送。但因为它在接收者的通信范围之外,它的发送实际上并不会造成冲突。这就引入了不必要的延迟,所以也要想办法解决。

在图2所示的暴露终端问题中,当B向A发送报文时,C成了暴露终端。如果仍采用解决隐终端问题提出的握手机制。当B向A发送数据时,C听到了B发送的RTS,但没有听到A回送的CTS。此时,C便知道自己是暴露终端,它向D发送数据并

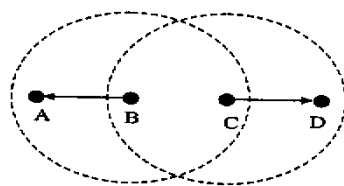


图2 暴露终端问题

Fig. 2 Exposed terminal problem

不会影响B与A的通信。但是问题并没有解决。当C知道自己是暴露终端后,它认为自己可以向D发送。C向D发送RTS,但来自D的CTS会与B发送的数据在C处产生碰撞。也就是说C收不到D的CTS。同样的问题产生了,由于C不知道D的当前状态,就超时重发。显然,在B与A通信期间,C无论发送多少次RTS,它都不可能听到来自D的CTS。C不但没有向D成功发送数据报文,反而重发了很多无用的RTS。这是暴露发送终端问题(暴露终端作为发送者)。再来看看C作为接收者时出现的问题。当B向A发送数据时,如果D想向C发送数据。来自D的RTS与B发送的数据会在C处碰撞,所以C收不到来自D的RTS。D不知道C处于何种状态,超时重发。这是暴露接收终端问题。分析

可见,暴露接收终端不可能成功地接收发给它的数据报文。因为即使 RTS-CTS 交互成功,来自 D 的数据报文也会与 B 的数据报文在 C 碰撞。此时只能让 D 知道 C 是暴露终端,D 可以先处理其它任务。在单信道的情况下,握手机制也无法解决暴露发送终端问题。若将数据信道和控制信道分开,当 B 通过数据信道向 A 发送数据时,如果图 2 中的 C 要向 D 发送数据,C 与 D 可以通过控制信道成功交互控制报文,C 也可以顺利地通过数据信道向 D 发送数据而不会产生冲突,这就解决了暴露发送终端问题。对于暴露接收终端问题,虽然 C 无法接收 D 发送的数据报文,但 C 可以在控制信道上收到来自 D 的 RTS,C 就可以通过控制信道通知 D 它是暴露终端,此时不能接收数据,让 D 先处理其它任务。这就消除了 D 无用的重复发送。

1.3 结论

根据以上分析,在单信道的情况下,使用交互 RTS-CTS 的握手机制可以解决隐发送终端问题,减小报文碰撞的概率。但是无法解决隐接收终端问题、暴露发送终端问题和暴露终端问题。造成这种结果的根据原因是控制报文和数据报文同在一个信道上传送会发生冲突。如果将控制信道和数据信道分开,控制报文在控制信道上发送而数据报文在数据信道上发送。那么,暴露发送终端可以发送数据报文;隐接收终端可以接收数据报文;暴露接收终端可以通知发送者延迟发送。隐终端和暴露终端问题都得到了较圆满的解决。

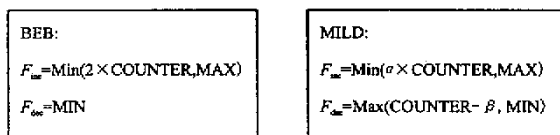
2 退避算法

在 CSMA 系列的接入技术中,当发生报文冲突时,发送者要执行退避算法,延迟一段随机时间后再尝试发送。实行退避的目的是为了减小重发时再次发生冲突的可能性。在 Ad hoc 网络中,为了解决隐终端和暴露终端问题,引入了 RTS-CTS 握手机制。RTS 和 CTS 控制报文之间可能会发生冲突。发生冲突时,发送者超时等不到 CTS,要执行退避算法,延迟一段随机时间重发 RTS。产生这个随机时间的“种子”称为退避计数器。退避计数器的值直接影响着产生的延迟时间的长短。当退避计数器的值较大时,产生的随机时间值一般来说较长;当退避计数器的值较小时,产生的随机时间值一般较短。显然结点退避计数器的值越小,它抢占信道的能力就越强;反之,它抢占信道的能力就越弱。也就是说,退避计数

器的值反映了结点接入信道的能力。退避算法就是指维护退避计数器的算法。它的目标是维护退避计数器的值,以正确反映结点附近信道的争用状况,赋予结点适当的抢占信道的能力。一般来说,退避算法要提供两个函数 F_{inc} 和 F_{dec} 。每次发生冲突时,就对退避计数器执行 F_{inc} 操作。每次交互成功时,就对退避计数器执行 F_{dec} 操作。

2.1 BEB 和 MILD

有的 Ad hoc 网络信道接入协议采用二进制指数退避 BEB(Binary Exponential Backoff)算法。图 3(a)和附录 A 描述了 BEB 算法的 F_{inc} 和 F_{dec} 函数。其中 COUNTER 指退避计数器的值,MAX 和 MIN 分别指退避计数器的最大和最小取值。每次发生冲突时,退避计数器的值加倍;每次交互成功时,退避计数器降至最小值 MIN。BEB 有两个缺点。其一是当一次交互成功时,退避计数器值就降到最低值,不能正确反映信道的争用状况。特别是当系统比较忙碌冲突较多时,经过多次退避,各个结点的退避计数器值都很大。此时如果一个结点交互成功,它的计数器值一下减为最小值。该结点会认为此时信道并不忙碌。其二是 BEB 会带来不公平现象。一次交互成功后,结点的退避计数器值降为最小,而其它不成功的结点的退避计数器的值较大。在后续的竞争中,退避计数器值小的结点在竞争中获胜的可能性大。获胜后,退避计数器又减为最小,其他失败的结点的退避计数器再次增大。获胜的结点更加有优势,而其它的结点因为抢不到信道而被饿死,造成严重的不公平现象。



(a) 二进制指数退避

(b) MILD 退避

图 3 退避算法

Fig. 3 Backoff algorithms

图 3(b)和附录 B 所示的 MILD(Multiplicative Increase Linear Decrease)算法是对 BEB 算法的改进。COUNTER、MAX 和 MIN 的含义同上, α 和 β 是两个可调节的参数。MILD 中,退避计数器的值是线性递减的。一次交互成功后,计数器的值减小 β 。如果 β 取值合理,COUNTER 并不会大幅度减小,在后续的信道竞争中,大家获胜的机会几乎均等,实现了公平接入。发生冲突时,退避计数器增加 α 倍,

如果 α 取值合理, COUNTER 也不会急剧增加。在 MACAW^[1] 中, α 和 β 的取值分别为 2 和 1, 即倍数增加和线性递减。文献[1]的仿真结果表明, MILD 要比 BEB 公平得多。 α 和 β 的取值可以根据不同的应用场合灵活选择。但 MILD 并没有完全消除不公平现象。由分析可知, 产生不公平现象的根本原因是争用信道的各结点的退避计数器的值相差较大, 产生的延迟时间的不同造成了不同的抢占信道的能力。虽然采用了 MILD 算法, 有时也会出现退避计数器的值相差较大的情况。比如, 当信道竞争较激烈时, 如果有个新结点加入网络, 因为新加入的结点不知道信道的争用情况, 它的退避计数器的值较小。这样争用信道的各结点的退避计数器值就有了较大的差异。严重的不公平现象就会产生。在 Ad hoc 网络中, 新结点加入是非常正常和经常的现象。所以, 这种不公平现象必须解决。

2.2 退避计数器广播

如何解决因为退避计数器值的差异造成的不公平现象呢? 文献[1]提出使用退避计数器广播技术来解决这个问题。当一个结点发送数据时, 它把自己的退避计数器的值放在数据报文的头部一起发送, 听到该结点发送的结点都可以得知发送者的退避计数器值。它们可以根据收到的退避计数器值修改自己的退避计数器值。这样就可以使网络中结点的退避计数器值相对保持一致。新加入的结点就可以及时获知信道的争用状况, 修改自己的退避计数器的值, 从而解决了公平接入问题。但这种方法又带来了另一个问题。当网络规模比较大时, 由于局部信道争用的加剧, 较大的退避计数器值会被扩散到全网。对于那些信道争用不太激烈区域的结点来说, 较大的退避计数器值使接入信道的延迟增大, 这会降低系统的效率。

2.3 解决方法

作者认为, 造成退避计数器值盲目扩散的根本原因是结点不知道信道的真正争用状况, 它只通过邻居结点广播的退避计数器值来判断信道的争用状况。结点应该对信道的争用状况进行估计, 修正自己的退避计数器。显然, 结点附近报文的冲突次数直接反映了信道的争用状况。所以只要对发生在结点附近报文的冲突次数记数, 就可以对信道的争用状况进行较正确的估计。一种可能的选择是通过 RTS 和 CTS 进行记数, 来估计结点附近报文的冲突情况。发送端 A 对它为本次通信而发送的 RTS 的个

数进行记数, 并把记数信息放在 RTS 报文的头部发送给接收者 B。同样, B 也对它发送的 CTS 的个数进行记数, CTS 报文的头部包含对 CTS 的记数信息。交互成功后(A 收到来自 B 的 CTS), A 可以得知 B 共发送了多少个 CTS。这个重发 CTS 的个数反映了 A 附近报文冲突的状况, 因为 CTS 报文只可能在 A 处发生冲突。B 也可以得知 A 共发送了多少个 RTS, 这个值是在 A 到 B 的信道上发生冲突的总次数, 它减去 B 发送的 CTS 的次数(指发生在 A 处的冲突次数), 就可以得到发生在 B 处的冲突次数。有了这些冲突次数, 结点就可以对信道的争用状况进行估计。当冲突次数小于门限值 G 时, 就调用 Fdec 减小退避计数器的值; 当冲突次数大于某个门限值 G 时, 就调用 Finc 函数增加退避计数器的值。而当结点无报文发送时, 就使用邻居广播的退避计数器值。这样, 既消除了新结点加入带来的不公平现象, 也解决了退避计数器值盲目传播问题。

3 接入协议

由于 Ad hoc 网络信道接入协议的重要性, 在这方面开展的研究很多。其中 MACA (Multiple Access Collision Avoidance)^[2] 是一个用于单信道网络的信道接入协议。通过 RTS-CTS 机制来解决隐终端和暴露终端问题, 采用 BEB 退避算法。缺点是解决隐接收终端和暴露终端问题, BEB 退避算法会造成严重的不公平现象。MACAW (MACA for Wireless LAN)^[1] 是 MACA 的改进。同样用于单信道的网络, 使用 RTS-CTS-DS (Data Sending) 机制来解决隐终端和暴露终端问题。使用 MILD 退避算法和退避计数器广播技术。缺点是也没有解决隐接收终端和暴露终端问题。DBTMA (Dual Busy Tone Multiple Access)^[3] 将信道分为数据信道和控制信道。另外还有两个窄带忙音 BTr 和 BTt 指示某站正在数据信道上接收和发送报文。通过对 BTr 和 BTt 的载波监听加上 RTS-CTS 来解决隐终端问题和暴露终端问题。因为使用了两个信道, 隐终端和暴露终端问题得到了较好的解决。DBTMA 的缺点是使用窄带忙音, 需要额外的载波监听硬件。

基于上述讨论, 提出了一种新的信道接入协议 DCMA (Dual Channel Multiple Access)。DCMA 使用两个信道: 数据信道和控制信道。隐终端和暴露终端问题用 RTS, CTS 和 NCTS (Not Clear To Send) 控制报文来解决。发送者在发送数据报文之前, 先在控制信道上发送 RTS 并等待接收者回应 CTS。

RTS-CTS 握手成功后才开始在数据信道上发送数据报文。超时等不到 CTS 时,退避重发 RTS。听到 CTS 但没有听到 RTS 的结点是隐终端。听到 RTS 但没有听到 CTS 的结点是暴露终端。隐终端不允许发送数据,解决了隐发送终端问题。当有结点要向隐终端发送数据时,它们可以成功地在控制信道上交互 RTS-CTS,也解决了隐接收终端问题。当暴露终端要向其它结点发送数据时,它可以成功地和目的结点在控制信道上交互 RTS-CTS 后在数据信道上发送,暴露发送终端问题解决了。当暴露终端收到来自其它结点的 RTS 时,因为它此时不能接收数据,它在控制信道上回应 NCTS。收到 NCTS 的结点知道对方是暴露终端,此时不能接收数据,它可以先处理其它任务。暴露接收终端问题也得到了解决。退避算法采用 MILD 算法,并使用退避计数器广播和信道争用估计技术来消除不公平现象。信道争用估计通过第三节中的对一次成功握手所发送的 RTS 和 CTS 的个数进行记数的方法来实现。当收到邻居广播的退避计数器值时,使用该值修改自己的退避计数器值。每次 RTS-CTS 握手成功,根据冲突的次数使用门限 G 、 $Finc$ 和 $Fdec$ 函数对退避计数器的值进行修正。使计数器的值能够真正反应信道争用状况,做到公平和高效。

4 结束语

在 Ad hoc 网络中使用简单的 CSMA 技术会带来隐终端问题和暴露终端问题。本文详细分析了这两个问题,并提出了使用 RTS-CTS 握手和双信道来解决隐终端和暴露终端问题的方法。退避算法对接入协议的公平性影响很大。分析了现有的 BEB 和 MILD 退避算法,指出了它们存在的问题。在基于退避计数器广播技术的基础上,还提出了信道争用估计技术,用以消除接入协议中的不公平现象。通过对隐终端问题、暴露终端问题和退避算法的详细分析和研究,提出了一种新的信道接入协议 DCMA。DCMA 完全解决了隐终端和暴露终端问题,并实现了公平、高效接入。

衡量一种信道接入协议的好坏,定量分析和仿真比较是非常重要的。我们将在后续的工作中对 DCMA 协议进行完善,通过分析和仿真比较,确定参数 α 和 β 的值,确定合适的门限 G ,并给出协议的各种性能指标。

附录 A: BEB 算法的程序描述

```
int Finc(COUNTER)
{
    COUNTER = 2 * COUNTER;
    if(COUNTER > MAX)
        COUNTER = MAX;
    return COUNTER;
}
int Fdec(COUNTER)
{
    COUNTER = MIN;
    return COUNTER;
}
```

附录 B: MILD 算法的程序描述

```
int Finc(COUNTER)
{
    COUNTER =  $\alpha$  * COUNTER;
    if(COUNTER > MAX)
        COUNTER = MAX;
    return COUNTER;
}
int Finc(COUNTER)
{
    COUNTER = COUNTER -  $\beta$ ;
    if(COUNTER < MIN)
        COUNTER = MIN;
    return COUNTER;
}
```

参考文献:

- [1] BHARGHAVAN V, DEMERS A, SHENKER S, et al. MACAW: a media access protocol for wireless LANs [C]. Proceeding of ACM SIGCOMM, 1994.
- [2] KARN P. MACA: a new channel access method for packet radio [C]. ARRL/CRRL Amateur Radio 9th Computer Networking Conference, 1990.
- [3] DENG J, HAAS Z J. Dual busy tone multiple access: a new medium access control for packet radio networks [C]. IEEE ICUPC'98, 1998.
- [4] HAAS Z J, DENG J. Dual busy tone multiple access—performance evaluation [C]. IEEE VTC'99, 1999.
- [5] HAAS Z J, TABRIZI S. On some challenges and design choices in Ad hoc communication [C]. IEEE MILCOM'98, 1998.

(责任编辑:徐金龙)

附录 A: BEB 算法的程序描述

Ad hoc网络信道接入技术研究

作者: 赵志峰, 郑少仁
作者单位: 解放军理工大学通信工程学院,
刊名: 解放军理工大学学报(自然科学版) **ISTIC EI PKU**
英文刊名: JOURNAL OF PLA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
年, 卷(期): 2001, 2(3)
被引用次数: 41次

参考文献(5条)

1. BHARGHAVAN V, DEMERS A, Shenker S. MACAW: a media access protocol for wireless LANs 1994
2. KARN P. MACA: a new channel access method for packet radio 1990
3. Deng J, HAAS Z J. Dual busy tone multiple access: a new medium access control for packet radio networks 1998
4. HAAS Z J, DENG J. Dual busy tone multiple access-performance evaluation 1999
5. HAAS Z J, TABRIZI S. On some challenges and design choices in Ad hoc communication 1998

相似文献(10条)

1. 学位论文 李虹 Ad Hoc网络QoS保障机制研究 2006

AdHoc网络是一种不需要固定基础设施支撑的、由若干移动节点组成的自组织无线网络。网络中没有固定的基站和移动交换中心,所有的协议都必须分布式工作。由于AdHoc网络能够快速、灵活、方便地支持用户的移动特性,并能够实现最广泛的、完全意义上的连续无缝多媒体通信,近年来日益成为个人通信和Internet上的非常活跃的研究领域。

与固定有线网络和传统蜂窝网络不同,对于拓扑经常发生变化、带宽很窄、能源受限的AdHoc网络而言,提供QoS支持是一个复杂而具有挑战意义的课题。由于没有考虑AdHoc网络的动态多变特性,Internet上传统的QoS框架模型和保障机制不能直接应用于AdHoc网络,这就要求研究和设计新的QoS保障机制,从而为AdHoc网络中的各种业务提供灵活的、能够满足一定要求的服务质量保证。

本文致力于研究AdHoc网络的QoS保障机制问题。文章在分析适应于AdHoc网络的局部QoS设计的基础上,从无线信道的预测机制出发,研究AdHoc网络的跨层QoS保障机制框架,同时针对AdHoc网络的MAC层在提供QoS保障机制方面的缺陷,设计可以有效改善AdHoc网络TCP性能和提供业务区分和带宽预留等基本QoS保证的多信道MAC协议。此外为了验证所做工作的效能,文中采用数学模型进行理论研究,并通过NS-2仿真工具进行功能验证和性能考察。本文的主要工作和创新点如下:

1. 提出了一种基于无线信道预测的跨层QoS保障机制框架。

当前AdHoc网络中绝大多数QoS保障机制框架的研究都是基于分层体系的,但是分层QoS保障机制却造成了网络各个层次独立优化而整个系统不能实现全局优化的问题,因此本文结合AdHoc网络无线信道动态变化的特性,从基于MARKOV链的无线信道预测机制出发,提出一种跨层QoS保障机制框架。此框架中,采用工作在不同协议层上的由预测机制、补偿机制和综合协调机制组成的中心控制器,来协调和传递自适应机制间的状态信息,共同提高AdHoc网络的服务质量。

2. 对现有的AdHoc网络的多信道MAC协议进行了详细的性能分析。

通过对严重影响AdHoc网络性能的隐终端/暴露终端问题进行了深入分析,结果表明采用多信道MAC协议,上述问题可以得到良好的解决。因此为了改善AdHoc网络的性能,我们将支持QoS保障机制的多信道MAC协议的研究作为整个论文的重点。此外文章还通过数学模型和仿真实验对基于专门控制信道、基于公共跳变序列、基于阶段拆分和基于多会合点四类多信道MAC协议类进行了详细的理论分析和性能比较,得出了基于专门控制信道协议类在提高AdHoc网络整体性能方面具有一定的优势的结论,并以此作为下面工作的基础。

3. 提出了一种可以有效改善AdHoc网络的TCP吞吐量的多信道MAC协议——NBMC协议。

文章在基于专门控制信道的多信道MAC协议类的基础上,提出了一种新型双向多信道媒体接入协议——NBMC协议。它通过在链路层设置多个传输信道减少各传输流对信道的争用时间。通过对原有的RTS/CTS握手机制进行扩充,使协议具备双向预留的功能,减少了前向的数据报文与反向的ACK确认报文的冲突。性能分析表明,无论是在TCP吞吐量方面还是各TCP流之间的公平性方面NBMC协议都表现出了良好的特性。此外协议还通过增加用于指示暴露终端的X报文用于阻止隐终端成功接收CTS报文的HIDE报文,以达到解决隐终端/暴露终端的目的。

4. 在NBMC协议的基础上,提出一种具有夹带预约能力的QoS增强算法。

算法中,各节点根据所传输的报文业务的性质不同,对业务进行区分。在传输一般数据报文时,采用能够提供较高的TCP吞吐量的NBMC协议,而在传输具有较高优先级的实时业务,引入了夹带预约机制,保证了实时业务在传输过程中竞争数据信道的优势。仿真实验表明,该算法在满足实时业务的传输时延要求和丢包率方面,实验结果令人满意。

2. 学位论文 刘娟 无线Ad Hoc网络中基于DBTMA的MAC协议研究 2007

媒体接入控制(MAC)协议是用来决定多个节点如何共享有限的信道资源的机制,而协议设计首先要尽量保证节点公平占有信道;其次是要有较高的信道利用率,能够充分利用有限的频率资源。在AdHoc网络中,隐终端和暴露终端的存在严重影响信道接入协议的性能。因此,论文主要是在分析双忙音多址接入(DBTMA)机制的基础上,对如何有效解决隐终端和暴露终端问题进行了研究,以便获得较高的信道利用率、较低的时延和较好的公平性。

首先介绍了无线信道存在的隐终端和暴露终端问题,对MAC协议研究所面临的问题和挑战进行了分析,并对目前MAC协议中改善隐终端和暴露终端问题的方法进行了分析和比较,指出了各种方法的优缺点及适用的场合,为其实际应用提供了依据。

其次,在详细讨论了单信道RTS/CTS握手方法、多信道RTS/CTS握手方法的基础上,深入研究了忙音检测方法,重点对基于DBTMA(双忙音多址接入)的MAC协议进行了研究。论文对DBTMA进行了性能分析,并与CSMA技术进行了比较,仿真验证了DBTMA在提高信道利用率上要优于CSMA技术。同时也指出DBTMA并没有完全消除隐终端和暴露终端问题,因而从两个方面对其提出了改进:一是从协议的公平性着手,对双忙音检测方法进行了改进。文中尝试去掉其中的发送忙音,这样做的目的是为了消除协议的不公平性,同时也降低了协议复杂度,缩短了时延,改善了发送忙音带来的暴露终端问题。仿真结果表明,虽然系统性能有轻微的下降,但却明显改善了协议的公平性;二是从双信道方法着手,对数据信道和控制信道的传输内容进行了改进。在数据信道上传输数据报文和RTS报文,在控制信道上传输两个忙音信号,并在接收忙音上设定了两种传输波形BtTs和BTr。仿真结果表明,这种改进有效地改善了暴露终端问题,提高了网络吞吐量。

最后,论文介绍了正交频分复用(OFDM)的基本原理和技术基础,利用OFDM的实现复杂度低、应用广泛的特点,对改进后的DBTMA协议进行了简要的实现,在理论分析的基础上仿真验证了改进方案的有效性。

3. 学位论文 张美平 基于MAC与TCP跨层协作的无线Ad Hoc网络性能优化 2006

随着现代无线通信技术和因特网的发展与进步,人们对移动信息服务的需求也同比增长,这促使低成本、较少依赖基础设施的无线网络技术成为学术和产业研究的热点。无线Ad Hoc网络是由一组静止或移动节点组成,不依赖于现有的网络基础设施,采用分布式管理的自主网络。这种网络在许多场合(如军事通信、灾难恢复、搜索和救援行动等)将具有越来越重要的作用。提高网络性能是无线网络协议设计中最主要的目标之一,跨层交互协作是目前研究与改善Ad Hoc网络性能的一种重要方法。因此,本文提出了一种新型的跨层协作方法,通过MAC层与TCP层的跨层交互协作来改善多跳Ad Hoc网络中TCP的性能。主要研究工作和成果概括如下:

论文综述了IEEE 802.11 MAC协议应用于AdHoc网络时存在的问题。分析了IEEE 802.11 MAC信道接入协议的机制,及其使用RTS/CTS应答机制解决单跳WLAN中存在的隐终端问题。分析了使用RTS/CTS应答机制后Ad Hoc网络中存在多跳扩展隐终端问题,指出网络负载过大是引起多跳扩展隐终端问题的主要原因。通过分析MAC层与路由层、TCP层间的相互影响,得出多跳扩展隐终端问题是导致AdHoc网络性能降低与网络不稳定的重要原因。

利用再生回报过程与嵌入式马尔可夫链模型,分析了3跳Ad Hoc网络中IEEE 802.11 MAC的性能。分别计算了:TCP的发送窗口、w=2接收方累计确认参数d=1、TCP的发送窗口w=2接收方累计确认参数d=2、TCP的发送窗口w=3接收方累计确认参数d=3,3种场景的TCP吞吐量。

论文综述了TCP协议应用于Ad Hoc网络时存在的问题,及其改善性能的方案。提出了一种新型的跨层协作方案,利用TCP连接沿途节点反馈的MAC层拥塞窗口CW(Contention Window)值,来动态调节TCP发送方的最大发送窗口,从而调节网络的负载。仿真实验表明,该跨层协作方法在链式拓扑、网络拓扑以及随机动态移动拓扑中均能较明显地提高其TCP的性能及其网络的稳定性。

4. 学位论文 吴风军 移动Ad Hoc网络MAC层协议退避算法研究 2009

移动Ad Hoc网络MANET是一种由移动主机临时组建的、没有固定有线基础结构支持的、拓扑结构动态变化的无线通信网络。因其在军事、灾害营救方面有广泛的应用前景,近年来,日益成为一个活跃的研究领域。

在MAC层,IEEE802.11的MAC协议是移动Ad Hoc网络目前事实上的标准。但由于其本身是针对单跳的WLAN设计的,并没有针对多跳网络进行优化,当应用于多跳Ad Hoc网络时,其存在许多问题。尤其是:802.11 MAC协议采用了具有不公平特性的BEB二进制指数退避算法执行随机退避过程,从而在不同的节点之间产生了显著的不公平问题;网络固有的隐终端和暴露终端问题,再加上不公平的随机退避算法,使得在采用802.11 MAC协议的无线网络中容易出现捕获现象,即一些节点垄断了共享信道,而其它一些节点则处于“饥饿状态”。

本文对802.11 MAC协议BEB算法和其它一些退避算法进行了分析研究,在退避算法方面,已经有很多人提出了很多富有创新性的算法。但是,很多只是在一方面有所改进,而其它方面有所降低,还有一些实现起来比较复杂。由于,移动Ad Hoc网络具有自身的特点,其很多性能是互相制约的。所以,提出一种简单且能在各种性能间取得很好折衷的算法是很困难的,也是现在退避算法研究的重点之一。在充分分析研究的基础上,本文提出了一种采用自适应竞争窗口的退避算法。本文采用NS2仿真模拟系统对这两种算法进行了仿真,并对这两种算法在TCP流下的稳定性、公平性和网络吞吐量分别进行了对比。仿真结果表明:本文提出的算法,在基本没有降低网络吞吐量的同时,改善了数据流的稳定性、公平性和接入平均时延,在空间利用率、稳定性和公平性间取得了很好的协调。

5. 学位论文 方勇 AdHoc网络MAC协议研究及退避算法改进 2007

移动Ad Hoc网络是由一组移动节点(带有多个终端的路由器、移动通讯设备等)形成的一个多跳的、临时性的自治系统。在军事、法律执行、灾害营救方面具有广泛的应用前景。近年来Ad-hoc网络日益成为一个非常活跃的研究领域。

在MAC层,Ad Hoc网络有很多种MAC协议,这几类协议都有各自的优势。但是影响其性能的主要因素有隐终端,暴露终端以及公平性的问题。根据这些问题都有相应的解决方案。本文研究的Ad-hoc网络MAC层采用IEEE 802.11作为其标准。DCF是802.11MAC协议的基本媒体访问方法,采用了二进制指数退避算法(BEB)。该机制有利于提高网络吞吐量,但是会引起不同节点之间的不公平性。MILD算法以及MIMLD算法在不同的方面改善了网络的性能,提高了接入的公平性。但是在提高系统的吞吐率上还有待改善。为此,论文中提出了一种新的公平媒体访问方法(EMIMLD),加入了平均窗口ECW的概念,通过动态调整时间间隔和窗口大小,减轻了IEEE 802.11中遇到的问题。很大的提高了系统的吞吐率,改善了网络的公平性。

为验证提出的算法,我们分析了Opnet仿真模拟系统中MAC层的实现,研究了BEB算法的实现过程,并用改进算法替代了BEB算法。并对这两个算法的公平性和网络吞吐量分别进行了对比。仿真模拟结果表明提出的算法对提高Ad Hoc网络的吞吐量和降低接入平均时延有明显的效果,具有很好的应用潜力。

6. 学位论文 周广胜 基于虚拟骨干网和基于MPLS的Ad hoc无线移动网络路由技术的研究 2005

本文对现有的Adhoc网络路由协议和基于虚拟骨干网、基于MPLS的Adhoc网络路由技术等关键问题进行了研究。文章对Adhoc无线移动网络现有的路由协议进行了概述;介绍了Adhoc无线移动网络的体系结构;分析了无线MAC协议中的隐终端和暴露终端问题;阐述了MACAW协议中本地广播和信标(单播)的原理和使用;分析了Adhoc无线移动网络路由协议的评估方法、评估标准以及各路由协议适用的网络环境;提出了一种新型的基于虚拟骨干网技术的Adhoc网络体系结构;介绍和分析了将MPLS技术和Adhoc路由技术相结合的新思路,并对Adhoc网络的QoS保障问题进行了分析和总结。

7. 学位论文 曹雪花 Ad Hoc网络中一种提供QoS保障的MAC协议的研究 2008

无线AdHoc网络是一种由若干无线通信设备临时自由组合形成的一种无线分组网络,它不需固定通信设施的支持,网络节点可自由移动,它们既是通信终端,又是路由器。无线AdHoc网络能随着节点的加入、离开、移动进行自组织、自我管理。目前,无线AdHoc网络技术已成为一个新的研究热点。

在无线AdHoc网络中,无线信道由多节点共享,协调节点访问信道的介质访问控制(MAC)机制是无线AdHoc网络的关键技术之一,它不仅关系到能否充分利用无线信道资源、实现节点对无线信道的公平竞争,同时影响网络层和传输层协议的性能,也是无线AdHoc网络支持服务质量(QoS)的关键。然而,无线AdHoc网络自身的特点(如分布式、存在隐终端/显终端问题、网络拓扑频繁变化等)使得研究高效、公平、支持QoS的MAC机制面临很大的挑战性,已成为无线AdHoc网络的一个研究难点。

本文主要研究了上述问题,并在前有协议的基础上进行改进。在AdHoc网络中提供服务质量(QoS)保障是一个复杂的系统问题,而媒体接入控制(MAC)协议是上层应用的服务质量能否得到最终保障的一个关键因素。在ADAPT的基础上,提出一种提供QoS保障的MAC协议-QADAPT。QADAPT。能够提供节点的公平接入并保障实时业务有限的时延。仿真结果表明QADAPT与ADAPT相比提高了实时业务的发送成功率。

8. 学位论文 陈琳 无线Ad hoc网络资源管理关键技术研究 2007

近年来,随着网络技术和无线通信技术的飞速发展,无线AdHoc网络逐渐成为人们研究的热点。在AdHoc网络从军事领域扩展到商业领域的过程中,其规模和应用范围急剧扩大,网络承担的任务种类愈来愈多,如何成功的对无线AdHoc网络进行资源管理和控制,提高网络的性能和服务质量,保证信息的安全和可靠传输,已成为一项亟待解决的任务。为了实现资源的有效管理,本文就异构骨干网结构、联合拓扑控制与路由,以及多速率感知的功率控制等三个重要问题展开了研究。首先本文提出了一种可扩展的多接口多信道异构无线网络结构,并在此基础上设计了灵活的信道分配、功率控制以及路由联合调整机制以进一步提高网络吞吐量,最后对多速率感知情况下的最优发射功率控制问题进行了理论分析。本文的主要贡献和创新点为:

(1)提出了一种简单可行的可扩展多接口多信道异构无线网络结构,用于无线AdHoc网络的骨干网部分,可改善无线网络的吞吐量和扩展性。无线介质的广播特性造成节点接入竞争和相互干扰,使得信道的容量大大降低。早期多跳网络理论分析和实验结果表明由于受数据报多次转发的影响,网络的吞吐量随着网络规模的扩大而急剧降低,网络可扩展性较差。本文提出的可扩展多接口多信道异构无线网络结构,赋予了超级节点和路由节点不同的传送能力,借助超级节点的长距离转发来减少跳数,从而提高网络的可扩展性;同时超级节点和路由节点具有不同的网络接口数和信道分配,多信道的使用大大缓解了强发射功率对周围节点所产生的干扰以及不对称链路引起的隐终端的影响,并进一步提高了网络的吞吐量。

(2)提出位于MAC层和网络层之间的联合拓扑控制与路由协议,该协议根据信道状况通过协调多个无线节点的发射功率、信道分配和路由选择来降低节点之间的干扰,以达到提高网络吞吐量的目的。IEEE802.11提供的正交信道数毕竟有限,每个节点所配备的接口数目更是远远少于可用信道数,再加上信道分配时节点之间信道依赖和连通性目的影响,网络吞吐量的改进往往不能达到令人满意的程度。本文侧重于同时考虑信道多样性和空间复用性,提出了联合拓扑控制与路由协议。该协议的特点是:基于两跳内链路负载和节点信道信息,根据性能指标ECATM对各种可行的调整候选方案进行量化,找出最优方案,然后相应的调整节点不同接口的发射功率、信道分配以及路由选择以改善当前网络状况。

(3)对多速率感知情况下的发射功率控制问题进行了分析并建立了理论模型,该模型揭示了空间复用和单条链路物理层数据传输速率之间的折衷关系,能得出最大化网络吞吐量的节点最优发射功率。现有工作着重考虑发射功率和跳数之间的折衷而忽略了多速率对最优发射功率影响,或是基于时分复用的MAC假设,其结论难以应用到真正的AdHoc网络。本文使用p-persistentCSMA,采用马尔可夫链从理论上对基于IEEE802.11MAC的多速率感知发射功率控制问题进行分析,对单跳数据流、多跳数据流、以及存在并发干扰和隐终端状况下的吞吐量进行了建模,揭示了多速率感知情况下发射功率的最优选择。通过这些模型,可以得出不同发射功率下网络的整体吞吐量,数据发送延迟等信息,最后通过数值计算分析了模型的正确性。

9. 学位论文 王小辉 用于模块化逆变电源监控的混合媒介通信技术研究 2006

模块化是逆变电源设计的一个发展趋势,多个并联的电源模块的协同工作及控制都依赖可靠的数据传输。本课题作为国家自然科学基金项目《新型高频中小功率逆变电源控制技术和拓扑技术》的一个子课题,研究了逆变电源间的网络通信技术。

根据逆变电源间通信的特点,本文采用了一种基于CAN(ControllerAreaNet)总线及无线AdHoc网络的混合通信方式。首先,设计制作了CAN总线接口硬件电路,实现了以双绞线为传输介质的CAN总线通信,满足了监控系统要求的通信功能;之后,研究了以各个电源模块为终端的基于AdHoc网络通信技术。设计制作并调试了DSPLF2407A芯片与射频传输模块nRF905的接口电路,实现了模块化逆变电源通过无线信道进行的通信。针对AdHoc网络中MAC协议的研究,文中提出了一种基于慢速跳频通信的改进协议,并通过软件仿真分析了该协议的网络性能。

本文的理论和实验研究,可以直接应用于基于嵌入式控制器的电源模块系统。在电源模块的网络通信过程中,可以根据需要选用适当的通信方式,或者在一种通信方式中断后可以采用另外一种通信方式进行通信,确保网络通信的正常进行。对MAC协议研究,在已有HRMA协议的基础上采用了独立子信道用来交换控制信息,改善了信道复用性能。

研究表明,采用混合介质通信方式可以充分利用有线及无线通信方式的优点,使得电源模块间的网络通信更加灵活,可靠。在MAC协议研究中,采用多信道慢速跳频方式可以充分利用有限的信道资源,减少通信中隐终端及暴露终端的影响等。

10. 学位论文 董明忠 移动Ad Hoc网络多址接入控制协议研究 2006

传统移动网络的发展迅雷不及掩耳,每个终端都必须完全依赖于基站进行通信,但是若遇到偏远山区、抢险救灾、军事战争等恶劣环境,通信基础设施无法架设或遭到破坏的情况下。在这种情况下想要快速地组建动态的临时网络进行彼此通信,并且与外界网络进行联络通信,形成立体的空中通信网络,此时必须采用本文研究的移动Ad hoc自组网。

移动Ad Hoc网络源于分组无线网络(Packet Radio Network)< [3]>,30多年来国际上研究不断,已取得很多阶段性的研究成果。由于Ad hoc网络是一种有特殊用途的网,每个移动终端兼备路由器和主机两种功能,与其它传统通信网络相比,Adhoc网络具有以下显著特点:(1)无中心和自组织性;(2)自动配置;(3)动态变化的网络拓扑;(4)受限的无线传输带宽;(5)移动终端的局限性;(6)安全性较差;(7)网络的可扩展性不强;(8)多跳路由;(9)存在单向的无线信道;(10)特殊的信道共享方式;(11)供电问题突出。

由于Ad Hoc网络的节点具有移动性,拓扑结构动态变化,信道资源有限,链路不稳定,功率受限,传统有线网络中的协议或机制不法直接应用这种网络。目前,国际对于Ad Hoc网络的研究机构非常多,研究的难点与热点是< [3-6]>:(1)多跳Ad Hoc网络中的路由协议;(2)TCP协议在Ad Hoc网络中应用的性能及公平性问题;(3)移动Ad Hoc隐藏终端和暴露终端问题;(4)移动Ad Hoc网络中的服务质量(QoS)保证,包括QoS路由、资源预留、区分服务、信令机制等;(5)移动Ad Hoc网络终端的能源管理;(6)移动Ad Hoc网络的物理层调制与性能;(7)移动Ad Hoc网络MAC(Medium Access Control)层接入控制协议;(7)遭受密钥托管难题的Ad Hoc网络的安全与管理控制;(8)除IEEE802.11标准的Ad Hoc网络,还有IEEE802.15标准的蓝牙、WPAN、传感技术的Ad Hoc网络、IEEE802.16标准和UWB物理层的Ad Hoc网络,这些都是Ad Hoc网络的研究热点,必须研究适合这些网络的新协议。

为此,本人研究国际Ad Hoc网络研究的动态,参阅大量中外文献,对Ad Hoc网络的接入控制协议展开研究与思索,旨在弄清楚Ad Hoc网络MAC层工作原理与机制、物理层的调制对MAC层的性能影响与跨层设计、链路层的接入控制对网络层的路由影响与跨层协作;并且,改进或提出适合IEEE802.11DCF标准和UWB超宽标准的MAC协议,使其能够满足Ad Hoc网络的特殊应用,进一步改善Ad Hoc网络的接入控制与性能、网络的吞吐量与时延效果。

本文采用建立数学模型与Opnet实验仿真的研究方法,相对前,具有一些而改进或创新点:

(1)综述,Ad Hoc网络,对众多IEEE802.11DCF机制的Ad Hoc网络的MAC协议优缺点作了客观评价,为研究MAC协议有一定的启发性和指导性;(2)剖析IEEE802.11DCF机制的Ad Hoc网络接入控制,对载波侦听与虚拟载波侦听做了详细分析,针对文献[42-44],在Bianchi提出的无冻结状态二维Markov标准模型的基础上,结合国内研究,改进了动态退避窗口机制的二维Markov模型。通过理论计算分析,对竞争节点与介质访问延迟、数据包与介质访问延迟、初始竞争窗口与介质访问延迟不同情况,经Opnet进行仿真分析,性能明显高于原IEEE802.11DCF机制;(3)就改进的二维Markov模型的仿真,文章又依据Poisson过程建立了M/D/1延迟队列,使用国外经典的网络仿真软件Opnet 9.0,对BianchiMarkov型与改进型Markov型进行纵比仿真,同时用M/D/1延迟队列、改进型Markov模型与原IEEE802.11DCF进行纵比仿真,两种模型性能明显高于原IEEE802.11DCF机制;(4)根据研究与仿真发现,Ad Hoc网络中活动节点、初始竞争窗口对网络的时延与吞吐量是有影响的,文章进而研究了某一间隙内活动节点数目算法,并根据该间隙内节点稳态的发送概率 τ ,计算出时隙内存在不同活动节点数目的最优初始竞争窗口,两个参数协调配合,进行了Opnet环境的访问模式仿真,性能明显高于原IEEE802.11DCF机制;(5)针对Uwb Ad Hoc网络良好的的信道与优化技术的物理层技术,传统的无线mac协议不再适用,本人在链路层提出非时隙的PSMA协议侦听信道的占用概率,根据脉冲存在与否确定节点是否活动,由收信机对信道进行逻辑划分与概率接入。在物理层采用活动节点与分组长度的自适应算法,确保网络吞吐量与网络稳定性达到最优化;(6)依据TDMA协议,在UWB Ad Hoc网络中采用固定帧长的时间段进行微时隙划分,节点在微时隙1上竞争到信道,则立即可以发送数据,这就控制了节点优先权的概率。在后续的微时隙上竞争到信道,则证明该节点转入下一时隙预约发送数据,而且竞争到的后续微时隙越晚,则转入预约时隙的后续成功率越低,即优先权越小。协议在设计时也考虑到对微时隙的参与竞争概率问题,可以使在非1微时隙上竞争到信道的节点静默时间动态调整,使其可能在后续时隙中就能发送数据,很好地改善了网络的性能,该协议对安全性、暴露终端问题作了抑制;(7)通过UWB网络系统中接收方招待可性区域的距离感知,依据香农公式的距离容量等价原理,以及数据分组对招待区域的影响估算,并进一步确定传输速率对接收节点的判断干扰性能,提出收发方协同工作的安全模式的MAC协议;(8)双忙音多址接入协议依靠收发方发出脉冲护航通信,研究的人很多,本人对该协议3点进行综合性改进:a.使用一个RTS来预约信道,通过目的节点发送BTr信号来响应RTS。b.将控制信令RTS分成ALOHA竞争时隙,提高控制分组发送成功的概率。c.发送节点收到接收节点充分CTS的BTr,立即在一个小延时后可发送数据。d.进行三维Markov非饱和和分析。

引证文献(41条)

1. 唐静,王汝传,黄海平 一种基于动态TDMA时隙分配的攻击方法研究与实现[期刊论文]-信息安全与通信保密 2009(8)
2. 张智 自组网信道接入协议分析[期刊论文]-科技信息 2009(8)
3. 吴振宇,张继棠 Ad Hoc网络中优化功率控制技术浅析[期刊论文]-信息技术 2009(3)
4. 何佳 基于多信道的Ad hoc网络信道接入协议研究[期刊论文]-现代计算机(专业版) 2008(10)
5. 余丽,胡顺仁,全晓莉 中小型Ad hoc网络信道接入协议研究[期刊论文]-计算机工程与设计 2008(16)
6. 沙锋,王辉 解决Ad Hoc入侵终端问题的MAC层协议[期刊论文]-计算机工程与设计 2008(12)
7. 余丽,胡顺仁,全晓莉 一种中小型无线自组网信道接入协议设计[期刊论文]-科技创新导报 2007(31)
8. 孙翔,陈念伟 传统局域网的QoS保障机制的分析与应用[期刊论文]-通信技术 2007(8)
9. 秦耀文,胡志刚 Ad Hoc中MAC层一种基于动态预测的退避算法[期刊论文]-计算机工程与应用 2007(22)
10. 王申涛,杨浩,刘小丽,周熙 移动Ad Hoc网络中MAC协议的研究分析[期刊论文]-现代电子技术 2006(11)

11. 谷平反, 赵军 [无线数据通信网中的信道接入协议研究](#)[期刊论文]-[无线电工程](#) 2006(7)
12. 钟石, 贾中宁, 张基温 [一种基于CDMA的Ad Hoc功率控制协议](#)[期刊论文]-[微计算机信息](#) 2006(23)
13. 王鸿鹏, 戴博, 杨孝宗 [一种新的Ad Hoc信道接入协议](#)[期刊论文]-[计算机工程与设计](#) 2006(24)
14. 赵志峰, 郑少仁, 仇佩亮 [基于载波监听的Ad Hoc网络双信道接入协议研究](#)[期刊论文]-[电路与系统学报](#) 2006(2)
15. 王申涛, 谭小容 [移动Ad Hoc网络技术分析](#)[期刊论文]-[传感器世界](#) 2006(7)
16. 赵洪钢, 史浩山 [一种无线传感器网络信道接入自适应慢速退避算法](#)[期刊论文]-[传感技术学报](#) 2006(2)
17. 龙华 [超短波自组织网络数据链路层协议设计与实现](#)[学位论文]硕士 2006
18. 李欣 [UWB室内无线移动网络MAC协议研究](#)[学位论文]硕士 2006
19. 李欣 [UWB室内无线移动网络MAC协议研究](#)[学位论文]硕士 2006
20. 唐芸 [多信道随机多址RIMA-BP协议研究](#)[学位论文]硕士 2006
21. 刘彬彬 [基于概率检测的多通道随机多址无线通信网络协议分析](#)[学位论文]硕士 2006
22. 赵宣植 [IEEE 802.11 DCF功能动态MAC协议建模及性能分析](#)[学位论文]硕士 2006
23. 王小辉 [用于模块化逆变电源监控的混合媒介通信技术研究](#)[学位论文]硕士 2006
24. 赵洪钢 [无线传感器网络介质访问控制算法研究](#)[学位论文]硕士 2006
25. 高旭 [基于S-MAC的无线传感器网络MAC协议的开发及仿真实现](#)[学位论文]硕士 2006
26. 赵志峰, 郑少仁, 杨永康, 仇佩亮 [基于报文监听的Ad Hoc网络双信道接入协议](#)[期刊论文]-[计算机工程](#) 2005(7)
27. 吴华 [Ad hoc网中MAC层协议的研究](#)[学位论文]硕士 2005
28. 孟波 [Ad hoc网络MAC协议及扩展功率控制功能的研究](#)[学位论文]硕士 2005
29. 彭芝 [军用分组无线网中的关键技术研究](#)[学位论文]博士 2005
30. 郑相全 [基于负载均衡的无线自组网关键技术与算法研究](#)[学位论文]博士 2005
31. 张晓燕 [MANET关键技术的研究](#)[学位论文]硕士 2005
32. 张晓燕 [MANET关键技术的研究](#)[学位论文]硕士 2005
33. 张挺, 赵东风, 孙云山 [改进型二叉树形冲突分解隔离算法研究](#)[期刊论文]-[云南大学学报\(自然科学版\)](#) 2004(2)
34. 吴传霞, 范平志, 冯军焕 [一种Ad Hoc网络信道接入排队退避公平算法](#)[期刊论文]-[系统仿真学报](#) 2004(5)
35. 于卫波, 赵文栋 [Ad Hoc网络可扩展性仿真分析](#)[期刊论文]-[系统仿真学报](#) 2004(1)
36. 管明祥 [基于IEEE802.11无线局域网的MAC的研究](#)[学位论文]硕士 2004
37. [无线自组网中PCMA协议分析](#)[期刊论文]-[西安通信学院学报](#) 2003(6)
38. 方旭明 [移动Ad Hoc网络研究与发展现状](#)[期刊论文]-[数据通信](#) 2003(4)
39. 于卫波, 郑少仁 [Ad hoc网络信道接入协议研究](#)[期刊论文]-[解放军理工大学学报\(自然科学版\)](#) 2003(1)
40. 赵志峰, 郑少仁 [Ad Hoc网络信道接入协议](#)[期刊论文]-[电信科学](#) 2003(1)
41. 赵志峰, 徐利民, 郑少仁 [基于多信道的Ad hoc网络信道接入协议性能分析](#)[期刊论文]-[军事通信技术](#) 2002(4)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_jfjlgdxxb200103011.aspx
 授权使用: 黄小强(wfxadz), 授权号: da4cd8bb-b749-4cd5-955b-9ea50147a2bb

下载时间: 2011年3月13日