

文章编号: 1009-3443(2000)06-0024-06

无线战术互联网控制器通信协议的设计与实现

米志超, 郑少仁

(解放军理工大学 通信工程学院, 江苏 南京 210016)

摘要: 战术互联网是构造我军数字化部队的重点。介绍了战术互联网的核心设备之一——互联网控制器通信协议的设计思路,并针对 Ad Hoc 网络的特点,在实现中采用了相应的技术措施,如信道接入技术、路由算法和拓扑更新等,较好地解决了由于无线信道和节点移动等原因带来的问题。

关键词: 战术互联网;战术互联网控制器;Ad Hoc 网络;信道接入技术;路由算法;拓扑更新

中图分类号: TN915.04 文献标识码: A

Design and Implementation of a Communication Protocol in Wireless Tactical Internet Controller

MI Zhi-chao, ZHENG Shao-ren

(Institute of Communications Engineering, PLAUST, Nanjing 210016, China)

Abstract: Tactical Internet is a focus in constructing our army's Digitized Force. This article intruduces the basic idea in designing communication protocol in wireless tactical internet controller, which is a heart device of tactical internet. According to the characters of Ad Hoc network, we use some techniques in its implementation, such as radio access technique, routing algorithm and topology update, which can solve the problems caused by radio channel and nodes' mobility.

Key words: tactical internet; wireless tactical internet controller; Ad Hoc network; radio channel access; routing algorithm; topology update

1 概述

战术互联网是构建我军未来数字化部队的重要组成部分,它是互联的战术无线电台的集合,主要用于加强指挥人员、部队、士兵以及武器系统对指挥数据的共享,并能提供近似实时的态势感知,从而提高部队和武器系统的作战能力和生存能力。

1.1 无线互联网系统组成及无线战术互联网控制器(INC)

无线互联网系统组成如图 1 所示。整个网络由若干移动节点组成,每个移动节点内部的主机通过 HUB 构成一局域子网。子网通过路由器和互连网络控制器(INC)接入无线信道,实现各子网间以及子网与 Internet 之间的互联。

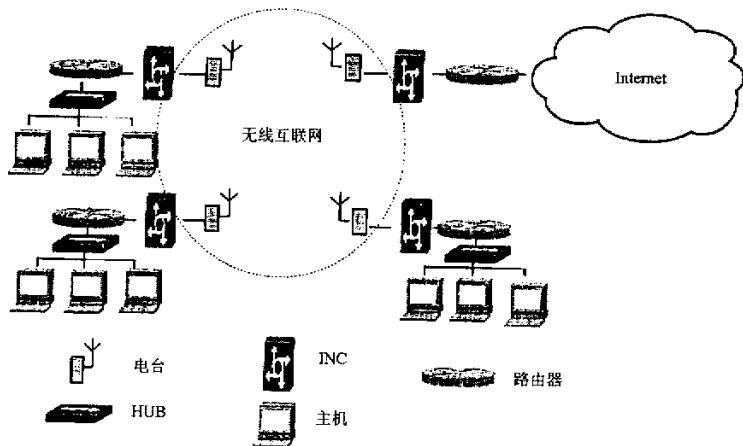


图1 无线互联网系统组成结构

Fig.1 Structure of wireless Internet system

在无线互联网中,由于无线信道以及网络拓扑结构等特点,传统的路由协议已经不再适用(后面将详细介绍),因此无线网络必须要有自己的路由协议,实现无线子网的内部寻址(Intranet 层寻址)。移动节点中的互联网控制器主要用于连接路由器和电台模块,实现无线互联网中报文的转发,以及无线网络中路由的建立和维护等功能。从其完成的功能上来看,互联网控制器相当于无线互联网内部的一个移动路由器,它与传统有线网络中的路由器在路由算法以及路由的维护上有很大的差异。节点中的路由器(有线路由器)主要向节点中的主机提供IP层的路由功能,从IP层来看,无线子网是一个全互联的透明传输子网。IP层路由采用静态配置方式。

1.2 Ad Hoc 网络

目前,无线网络根据其结构分为有中心网络(Infrastructured network)和无中心网络(Infrastructureless network)(又称 Ad Hoc 网络)。在有中心网络中,移动用户之间通过固定的基站进行通信,如商用蜂窝移动通信系统。而 Ad Hoc 网络中,没有专用的固定的基站,网络中所有的节点都相当于一个移动的路由器,这些节点作为同等实体相互连接,实现信息包的转发,它们都参与路由的发现和维持过程。与有中心网络相比,Ad Hoc 网络更坚固,更耐用,而且不需要提供固定的骨干设施,用户就可以通过无线网络互通。因此 Ad Hoc 网络主要应用于军事上(如上面介绍的无线战术互联网),以及一些紧急情况,如受灾地区的通信、边远地区和勘探等场合的通信。

1.3 MIL-STD-188-220B 协议介绍

MIL-STD-188-220B 是由美国国防部公布的标准,主要用于美军 CNR(战斗网无线电台)之间通信和互联,它实现了 CNR 之间的横向综合、无缝互连以及高度机动性通信等功能。

MIL-STD 188-220B 协议主要阐述了 DMTD(数字消息传输设备)之间以及 DMTD 与 C4I 系统之间消息交互的过程、协议和参数。DMTD 设备是一种具有有限消息产生和处理能力的便携式数字终端,它可以远程接入 C4I 系统和其它 DMTD 设备,进行点对点、点对多点、中继和广播的数据通信。

在本无线互联网控制器的通信协议设计过程中,参照了该协议标准,同时根据该协议存在的一些问题以及本系统的特点,作了相应的改进。

2 INC 通信协议的设计

万方数据

战术无线互联网是一个通信网,它透明地传输用户的应用层数据,维护和管理网络拓扑结构。因此按照

完成的功能,将其划分为网络层、数据链路层和物理层,其协议分层结构如图 2 所示,其中虚线以下部分为 INC 的通信协议部分。

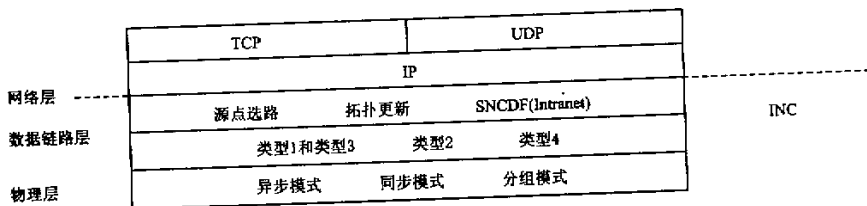


图 2 INC 协议分层结构

Fig. 2 Structure of INC protocol layer

2.1 物理层

INC 的物理层向用户提供通信系统中连接的激活、维护以及去活的控制等功能。根据传输同步域的不同,将其划分为:异步方式(DCE 不需要提供时钟)、同步方式(DCE 需要提供时钟)和分组方式(不需要帧同步)。

2.2 数据链路层

INC 的数据链路层主要完成数据成帧、数据帧的差错控制以及在物理链路上提供信息传输的控制等功能。在数据链路层,将数据通信的操作类型划分为:

- (1)类型 1:无证实、无连接操作;
- (2)类型 2:连接模式操作;
- (3)类型 3:有证实、无连接操作;
- (4)类型 4:去耦的有证实、无连接操作。

MIL-STD-188-220B 协议规定,在所有的系统中,类型 1 和类型 3 操作必须提供,类型 2 和类型 4 是可选的。根据本系统的实际需要,我们只实现类型 1 和类型 3 操作。

考虑到无线信道的信道质量等问题,INC 的数据链路层采用停等 ARQ 协议,其帧结构如图 3 所示,与 HDLC 协议帧结构类似。

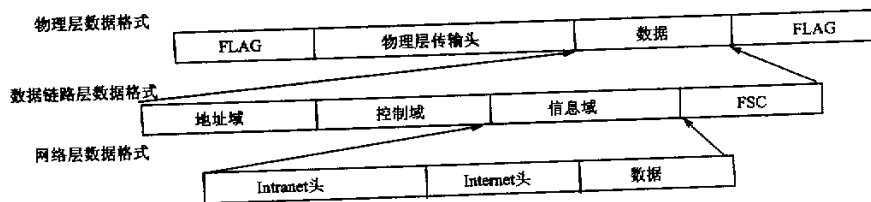


图 3 INC 协议数据格式

Fig. 3 Data format of INC protocol

2.3 网络层

INC 的网络层由两部分组成:IP 层和 Intranet 层。其中 IP 层采用 Internet 所使用的标准的 IP 协议,在这里主要完成 IP 层的数据传输、路由选择等功能。Intranet 层是 INC 网络层设计和实现的重点,它主要完成无线互联网内部的路由选择和维护等功能。Intranet 层有其相应的 Intranet 层地址,该地址主要用于无线互联网内部节点选路使用。因此,如果仅在一个专用系统中使用 INC 作为路由器,高层应用可以直接接入 Intranet 层,而不需要使用 IP 层。

具体地说,Intranet 层主要完成以下功能:

- (1)完成无线互联网内部源节点和目的节点之间的选路;
- (2)交换拓扑信息和连接信息,维护无线网络拓扑结构。

网络层数据格式如图 3 所示。由于协议采用源点选路,在 Intranet 头包含了路由中所有的站点地址;同

时,将 Intranet 消息区分为 IP 消息、拓扑更新消息和拓扑更新请求消息等。

在 Intranet 层,根据功能的不同,将其进一步划分为:子网相关会聚子层和 Intranet 子层,结构如图 4 所示。

其中,子网相关会聚子层(SNDCF)位于 IP 层和 Intranet 层之间,它屏蔽了传输子网的特性,为 IP 层报文转发提供了统一的接口,便于透明地实现子网功能的扩充和结构更新。IP 层根据目的 IP 地址查找下一跳 IP 地址;子网会聚子层根据 IP 报头的相关信息(点到点、组播、广播、TOS 域),将下一跳 IP 地址转换成相应的无线链路层地址;Intranet 层则根据当前的无线互联网路由信息实现报文的寻址转发。

Intranet 子层中的拓扑更新部分主要由拓扑更新处理和两个定时器(拓扑更新定时器和拓扑更新请求定时器)组成,这两个定时器主要用于限制拓扑更新以及拓扑更新请求报文发送的频率,减少由于拓扑更新过程带来的网络负载。这部分内容将在后面的实现过程中详细介绍。

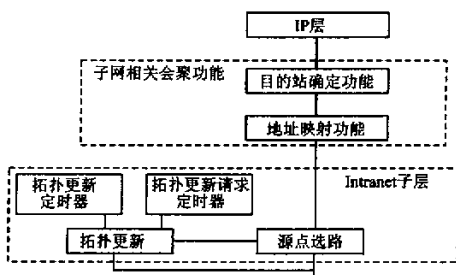


图 4 INC 网络逻辑分层结构

Fig. 4 Logical layer structure of INC's network layer

3 INC 通信协议的软件结构

在 INC 通信协议的实现过程中,我们采用了模块化的设计思路,即根据所完成功能的不同将系统划分为主控模块和协议层模块。

协议层模块主要实现各层协议(如物理层、数据链路层和 Intranet 层)所需完成的功能,因此可以将协议层模块细划为物理层子模块、数据链路层子模块和 Intranet 层子模块。各协议子模块都是一个有限状态机(FSM),它根据当前系统所处的状态和输入的消息,采取相应的动作并跃迁到新的状态。每个协议子模块都由消息缓冲区(包括输入消息缓冲区和输出消息缓冲区)和消息处理函数组成,消息缓冲区用于接收从对端结点或本结点相邻模块发送的消息,同时将消息交给相应的消息处理函数处理。

主控模块主要用于完成系统的初始化、接收控制命令以及协调协议层各子模块之间的工作。

4 实现过程中需要考虑的问题及采取的策略

概述中提到,无线战术互联网是一种 Ad Hoc 网络,与传统的固定有线网络相比,在实现的过程中,需要考虑以下几个问题:

(1)无线信道带来的问题:①网络带宽较窄。目前无线网络的传输带宽只有几十千比特~几兆比特,如何提高信道利用率是无线网络中需要考虑的一个重要问题;②信道传输质量较差。与有线信道相比,无线信道的误码率远远大于有线信道的误码率,高误码率的信道将会引起数据的重传,从而降低无线信道的利用率;③节点的通信距离受限。本系统中所有的节点电台工作在相同的频率段,也就是说所有的节点共享传输信道。这有点类似以太网,但与以太网不同的是,无线网络中,由于电台频率和发射功率等原因,一个节点发出的信号,可能网络中其它的节点并不一定都能收到,这样在使用 CSMA 协议时就会出现“隐终端”和“暴露终端”等问题。

(2)网络的拓扑结构变化频繁:在 Ad Hoc 网络中,所有的节点都参与数据的转发和路由的维护,但与传统的固定网不同的是,作为路由器的每个节点都是移动的,因此其拓扑结构的变化速度将会远远大于固定网的拓扑变化速度。而且在固定网中,拓扑结构变化通常是因为链路拥塞或失效等原因引起的;同时考虑到无线信道的带宽等问题,传统的路由协议,如 RIP、OSPF 等在无线互联网中不再适用。

为解决这些问题,在本系统通信协议的实现中,我们采取了以下一些技术措施。

4.1 信道接入技术

万方数据

在本系统中,所有的节点共享传输信道,要想充分地利用无线信道,并尽量保证各用户使用信道的公平

性,就必须采用合适的信道接入技术。在 INC 通信协议的链路层,我们采用了 CSMA 接入技术,但根据无线网络的特点,作了相应的改进。具体策略如下:

(1)采用 RTS/CTS 机制。在发送用户数据之前,节点首先向对方发送 RTS(Request To Send)帧,只有在收到对方回送的 CTS(Clear To Send)帧后,本节点才能发送数据。采用这样的机制有以下两点好处:①提高无线信道的利用率。尽管采用了 CSMA 技术,我们仍然无法保证避免冲突的发生,一旦发生冲突,冲突的各方都需要重传数据,这样就降低了无线信道的利用率。采用了 RTS/CTS 机制后,尽管仍然有可能发生 RTS 帧的冲突,但由于 RTS 帧长很短,这样就缩短了冲突时间。当然,如果数据本身就很短,再发送 RTS 消息就没有必要了,因此,在链路层设置了 RTS 发送门限值,只有待发送数据长度大于该门限,才需要发送 RTS 帧;②解决了隐终端问题。隐终端问题是由于无线电台的传输范围有限而引起的,具体情况如图 5 所示。图中虚线圆圈分别为无线节点 A、B、C 的通信范围,其中 B 节点可以听到 A 和 C,而 A 和 C 节点只能听到 B,这样,如果 A 在向 B 发送数据的同时,C 由于听不到 A 的数据而误以为现在 C 方向的信道闲,这样 C 发送到 B 的数据就会同 A 发向 B 的数据发生冲突,导致数据重发。采用了 RTS/CTS 机制后,B 在收到 A 的 RTS 帧后会向 B 发送 CTS 帧,该 CTS 帧同样会被 C 听到,因此 C 此时就知道有节点将向 B 发送数据,并根据 CTS 帧中携带的数据长度,等待相应的时间后再请求发送。

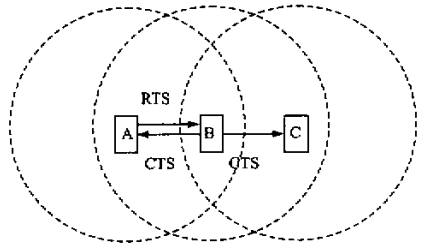


图 5 无线网络的隐终端问题

Fig. 5 Hidden station problem in wireless network

(2)采用相邻站点检测机制。每个站点当一段时间内没有数据发送时,需要周期地发送 Hello 报文。这样,节点可以较迅速地检测到相邻节点的加入和离开,以检测相邻站点的可达性。

(3)节点采用混合接收方式。每个节点不仅监听发往本节点的数据,同时也监听信道上所有其它节点的数据,这样虽然加重了每个节点的处理机负担,但节省了无线信道带宽。例如上面提及的 Hello 报文,如果这段时间内本站有数据发送,就不需要再发送 Hello 报文了。

(4)节点在发送数据后,需要随机等待一段时间后才能发送下一数据,这样就防止了一个站点长时间占用无线信道,体现了公平性。

4.2 路由算法及拓扑更新

在本系统中,无线互联网内部采用了基于距离矢量的源点选路算法。网络中的每个节点维护一张本节点到其它节点的距离矢量表(或者称完全路由表),每一表项内容包括:〈目的节点,目的节点的前一节点,跳数,耗费〉。根据目的站点的 Intranet 地址,源站点选择一条最短路由,发送数据报文。中间节点根据 Intranet 消息头中的路由信息,选择下一中继节点或目的站点,转发数据报。

由于本系统中采用了源点选路,每个节点都参与消息的转发。节点如何维护正确的网络拓扑结构,是 Intranet 层路由选择的核心问题。无线网络内部节点间通过拓扑更新的拓扑更新请求消息来交互拓扑信息。

针对无线网络带宽较窄的特点,在 Intranet 层的拓扑更新过程中我们尽量减少拓扑更新报文和拓扑更新请求报文的发送,将有限的带宽尽量使用在有效的用户数据的传输上。具体地说,采用了以下相应的机制:

(1)使用稀疏路由树和稀疏路由表。尽管完全路由树为节点提供了全部的拓扑信息,但其占用的传输带宽太大。在我们的系统中引入了稀疏路由树和稀疏路由表,所谓的稀疏路由表是对完全路由树作以下修改得到:①仅保留从根节点到另一节点的最短路径;②如果路由树中有多条最短路径,至多保留两条这样的路径。

稀疏路由表项的内容包括:〈目的节点地址,目的节点前继地址,跳数,耗费〉

拓扑消息中仅包括本节点的稀疏路由表,相邻节点根据此稀疏路由表修改自己的完全路由表。需要注意的是,稀疏路由树是由稀疏路由表生成的,虽然在稀疏路由表中,从根节点到任一节点的路由表项最多只有两个,但根据稀疏路由表项的结构,我们发现由路由表生成的稀疏路由树中相应节点间的路径可能不止两条,也就是说从稀疏路由表的结构中可以产生相当数量的冗余路由。

(2)采用条件触发拓扑更新过程。在 RIP 协议中,需要周期性地广播本节点的拓扑信息,这在无线网络中可能会无谓地占用大量带宽。在本系统中采用了条件触发拓扑更新过程,也就是说拓扑更新和拓扑更新请

求消息的发送是有条件的。具体策略如下：

当节点检测到链路状态发生变化(如检测到链路失败、新的链路或恢复的链路,链路质量发生变化等)时,需要发送拓扑更新消息来通知其它节点;当节点收到其它节点的拓扑更新消息,同时修改了本节点的稀疏路由树时,也需要将这一情况通过拓扑更新消息通知其它节点;在本系统中,每个节点维护一张已收到的相邻节点拓扑更新ID表,当收到的另外站的拓扑更新ID与本站存储的该站拓扑更新ID值不符(即有拓扑更新消息未收到),或是检测到未知的相邻节点时,都需要向该节点发送拓扑更新请求消息。收到拓扑更新请求消息的节点需要发送拓扑更新消息响应请求;为控制单位时间内拓扑更新和拓扑更新请求消息的发送次数,系统中通过开设拓扑更新定时器和拓扑更新请求定时器来限制它们的发送频率。

与传统的路由协议相比,由于本系统中 Intranet 层采用了上述相关机制,因此它具有以下特点:①采用了稀疏路由树,因此由于拓扑更新产生的额外开销小,占用带宽少;②有多条路径供选择,增强了网络的强壮性;③采用了源点选路方式,避免出现路由的“闭环”发生。

5 运行环境及测试结果

在本系统中,无线互联网网络控制器(INC)通信协议运行于实时操作系统 VxWorks 2.0 系统之上,与 INC 相连的电台的无线传输速率为 115.2kbits/s。

协议的测试主要包括:①测试对各种情况(正常情况和异常情况)的处理;②系统数据丢失率的测试;③路由测试,包括静态路由和动态路由的测试。目前野外实际环境中已经完成了前两项以及静态路由的测试,其中系统数据丢失率的测试主要通过通过对多个结点之间互相持续发送数据报,统计其丢失率来完成。在实际的野外测试中,我们开设了3台结点,每个结点分别包括3个独立的数据源,持续发送固定长度(512 Bytes)的 PING 报文(每个数据源的发送速率为每 500 ms 发送一个 PING 报文),系统的数据丢失率在 10^{-5} 左右。当然,随着节点数的增加,系统负载增大,节点间数据碰撞的概率逐渐增加,系统的数据丢失率也会逐步增大。动态路由已经在模拟环境中经过大量的测试,下一阶段主要任务是完成对动态路由的野外实际测试。

本文介绍了互联网控制器通信协议的设计思路和实现中采用的一些策略,该通信协议经过了大量的模拟环境和野外实际测试,性能良好。但同时,我们也看到,由于 Ad Hoc 网络的复杂性,对无线信道的接入技术、路由选择算法以及通信的安全等问题仍是今后需要进一步研究的重点和难点。

参考文献:

- [1] MIL-STD-188-220B-1998, Interoperability standard for digital message transfer device subsystems[S].
- [2] MIL-STD-188-220B Appendix-1998, Interoperability standard for digital message transfer device subsystems[S].
- [3] Tanenbaum A S. 计算机网络[M]. 熊桂喜,王小虎译. 北京:清华大学出版社,1998.

(责任编辑:徐金龙)

标题新闻

11月29日,南京大学物理系都有为教授在解放军理工大学作了题为“纳米材料及其应用”的学术报告。

作者: [米志超](#), [郑少仁](#)
作者单位: [解放军理工大学通信工程学院, 江苏南京 210016](#)
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): 2000, 1(6)
被引用次数: 19次

参考文献(3条)

1. [MIL-STD-188-220B-1998 Interoperability standard for digital message transfer de vice subsystems](#)
2. [MIL-STD-188-220B Appendix-1998 Inte r operability standard for digital message transfer device subsystems](#)
3. [Tanenbaum A S. 熊桂喜, 王小虎 计算机网络 1998](#)

相似文献(3条)

1. 会议论文 [米志超, 邱正伦, 郑少仁 一种基于AdHoi网络的无线战术互联网控制器通信协议的设计与实现 2000](#)
战术互联网是构造我军数字化部队的重点, 本文介绍了战术互联网的核心设备之一—互联网控制器通信协议的设计思路, 并针对AdHoi网络的特点, 在实现过程中采用了相应的 技术措施, 如信道接入技术、路由算法和拓扑更新等, 较好的解决了由于无线信道和节点移动等原因带来的问题。
2. 期刊论文 [赵明峰, 宋小燕 战术互联网控制器应用技术研究 -电脑开发与应用2004, 17\(1\)](#)
分析了战术互联网的现状, 阐述了战术互联网通信仿真体系结构和控制技术应用两个方面, 同时探讨了战术互联网的IP路由控制技术及其宽带、窄带电台仿真接入的链路选择及转发思路。
3. 期刊论文 [李义峰, 赵明峰 FSR路由协议在战术互联网中的应用 -电脑开发与应用2006, 19\(3\)](#)
战术互联网的网络拓扑变化频繁, 传输带宽有限, FSR路由协议可以避免洪泛、降低网络开销的特点使其可以在战术互联网中得到很好的应用. 介绍了FSR路由协议的基本原理, 简要叙述了战术互联网控制器(INC)的结构和运行FSR路由协议的特殊性, 最后提出了一种可行的解决方法。

引证文献(19条)

1. [韩秀蓉, 康凤举, 钟联炯, 田晓静 战术通信网中按需路由协议的仿真研究\[期刊论文\]-现代电子技术 2010\(8\)](#)
2. [刘志远, 张曼曼 Ad hoc网络安全策略\[期刊论文\]-网络安全技术与应用 2006\(7\)](#)
3. [刘志远, 杨植超 Ad hoc网络及其安全性分析\[期刊论文\]-计算机技术与发展 2006\(1\)](#)
4. [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\(7\)](#)
5. [刘明 基于NS-2的Ad Hoc网络路由协议模拟\[学位论文\]硕士 2006](#)
6. [董旭楠 Ad Hoc中一种基于移动Agents的按需路由协议\[学位论文\]硕士 2006](#)
7. [门福军 Ad hoc网络路由协议及性能研究\[学位论文\]硕士 2006](#)
8. [王振坤 移动自组织网络分布式信任模型研究\[学位论文\]硕士 2006](#)
9. [程晓满 移动Ad Hoc网络\(MANETS\) 安全问题研究\[学位论文\]硕士 2006](#)
10. [余丽 一种中小型无线自组网信道接入技术研究\[学位论文\]硕士 2006](#)
11. [陈怡 Ad Hoc网络的多域全分布式CA推荐信任互操作模型\[学位论文\]硕士 2006](#)
12. [王海涛 Ad Hoc网络的应用及相关问题探讨\[期刊论文\]-数字通信世界 2005\(6\)](#)
13. [范明君 Ad hoc网络应用于西部地区网络远程教育之探讨\[期刊论文\]-职业教育研究 2005\(11\)](#)
14. [王海涛, 刘晓明 战术互联网的主要装备、关键技术和未来发展\[期刊论文\]-航空电子技术 2005\(1\)](#)
15. [袁博 Ad Hoc网络多路路由研究\[学位论文\]硕士 2005](#)
16. [郑瑾 基于AODV的AD HOC路由协议本地修复策略的研究\[学位论文\]硕士 2005](#)
17. [龙舫 基于DSR协议的Ad hoc网络可靠路由研究\[学位论文\]硕士 2004](#)
18. [周宇征 无线Ad hoc网络备份源路由研究\[学位论文\]硕士 2004](#)
19. [米志超, 鲍民权, 郑少仁 一种基于多跳Ad Hoc网络的路由协议的设计与实现\[期刊论文\]-西安电子科技大学学](#)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_jfjlgdxxb200006005.aspx

授权使用: 黄小强(wfxadz), 授权号: 0fe55991-4e64-472a-a92d-9ea501486b80

下载时间: 2011年3月13日