

一种路径干扰优化的多径距离矢量路由协议

符可可, 刘航, 郭达伟, 曹爱文

(西北工业大学 自动化学院, 陕西 西安 710129)

摘要:多径路由协议可以同时使用多条路径传输数据,减少端到端延迟并提高吞吐量。然而,多条路径之间的干扰作用可能会对网络的整体性能造成影响,使网络无法实现预期的性能提升。提出了一种新的解决路径间干扰问题的算法 IO-AOMDV (Interference-Optimized AOMDV)。该方法引入路径相关度的计算来评估路径间干扰的大小,在路由发现过程中发现并建立路径相关度最小的路径对,然后使用该路径对传输数据。仿真结果表明,IO-AOMDV 在包投递率、吞吐量、端到端平均延迟三个指标上可以得到较好的网络性能。

关键词:路径干扰;多径路由协议;干扰最小路径;AOMDV

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)09-0018-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.09.005

A Multipath Distance Vector Routing Protocol of Paths Interference Optimized

FU Ke-ke, LIU Hang, GUO Da-wei, CAO Ai-wen

(College of Automation, Northwestern Polytechnic University, Xi'an 710129, China)

Abstract: Using multiple paths to transmit data simultaneously in Ad-Hoc network is regarded to reduce end-to-end delay and achieve higher throughput. However, the interference between these paths may make a difference to the overall performance of the network, not completing the expected performance raising. A new protocol (IO-AOMDV) was proposed to establish interference-minimized paths. The protocol uses a new algorithm which can evaluate the extent of paths-interference to establish the interference-minimized paths, then uses these paths to transmit data. Simulations show that IO-AOMDV achieves good performance in terms of packet delivery ratio, throughput and average end-to-end delay.

Key words: paths interference; multipath routing protocol; interference-minimized paths; AOMDV

0 引言

基于多跳无线网络的路由协议^[1]一般可分为两种,表驱动协议和按需路由协议。AOMDV^[2]协议是在按需路由协议 AODV^[3]基础上,考虑多条路径发现和维的多径协议。与单径路由协议相比,多径路由^[4]通常可以大大降低路由发现的次数并明显减小端到端延迟^[2]。这一优越性使得多径路由协议获得了比单径协议更多的关注。

AOMDV 协议尽管在寻径时存储了多条路径,但它仍然只使用一条路径来传输数据,备用路径只在主路径断裂时才选用。与之相比,有些多径算法则采用多条路径传播数据流的方法,以减小端到端延迟,增加

吞吐量并实现负载平衡。然而,同时使用多条路径发送数据时,由于无线信道的特点,不同路径上节点之间会产生相互干扰,影响多径协议的网络性能。文中重点围绕路径干扰问题,在 AOMDV 的基础上做出了路径干扰最优化的多径路由协议 (IO-AOMDV)。

1 路径干扰问题文献综述

文献[5]的研究表明,使用多条路径传播数据流的方法,不一定能够得到更好的网络性能。即使在路径选取时选用了节点不相关^[6]或者区域不相关^[7]的不同路径,当 MAC 层采用 802.11 协议时,不相关的路径间仍然会存在相互影响。原因之一是基于 CSMA/

收稿日期:2012-11-26

修回日期:2013-03-02

网络出版时间:2013-05-09

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60803158);西北工业大学研究生创业种子基金项目(Z2012112)

作者简介:符可可(1987-),男,河南洛阳人,硕士研究生,研究方向为无线自组网路由协议;刘航,副教授,硕士生导师,主要从事密码硬件与嵌入式系统、嵌入式网络系统、嵌入式系统软硬件协同开发的研究与应用。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130509.1058.021.html>

CA^[8]的 MAC 协议为了避免隐藏终端的问题,节点间可选择发送 RTS 包和 CTS 包来竞争信道的下一个时隙,使不相关路径间的节点也可能产生竞争,从而影响多径协议的性能;此外,由于 MAC 层的实际侦听范围 I 往往大于实际传播范围 R ,通常为 $I=2R^{[9]}$,使得路径间的相互干扰并非局限于一跳范围以内。

文献[9]设计了一种新的协议 IAMR 解决路径间干扰的问题。该协议通过建立完全无干扰的路径对来发送数据,使网络性能得到了明显的提高。但是,这种两阶段的多径发现机制,将使得路径建立时间大大增加;另一方面,IAMR 协议需要邻居信息来支持其无干扰路径对的建立,即邻居节点间需要发送 Hello 消息,而 Hello 消息在网络负荷较大时会对数据包的发送产生影响,增加数据包的发送时间,对于一些能量受限的网络(如无线传感器网络),周期性的 Hello 消息会降低网络的存活时间;尤为重要,是 IAMR 协议对网络密度和源/目的节点对的位置敏感,可能会因网络密度较低,或源/目的节点之间最短路径对网络的分割,造成完全无干扰路径对难以被发现,从而使得 IAMR 协议不再适用。

文献[10]解决路径干扰问题所采用的方法需要为节点配备定向天线以避免路径间的干扰作用。然而,这种硬件支持在资源受限的无线自组网中显得代价略高。

文中提出了一种新的解决路径干扰问题的方法,在路由请求和回复过程中计算并获取路径干扰的相关度,并将路径相关度信息携带在 RREP 中发回给源节点。源节点则选取相关度最小的两条节点不相关路径来发送数据,从而获取提供高质量的网络服务。

2 IO-AOMDV 协议

2.1 协议原理

假设网络中每个节点具有相同的干扰范围 I 和相同的传输范围 R ,且 $I=2R^{[9]}$ 。选用文献[11]所介绍的干扰模型。当不同路径上存在节点 m 和 n 使得

$$\text{dist}(m, n) \leq I \quad (1)$$

时认为两条路径存在干扰。其中 m, n 分别是不同路径上的节点, $\text{dist}(m, n)$ 表示节点 m 和 n 之间的距离。

按照上述干扰模型,两条路径距离 I 以上时视作相互干扰最小(不计路径第一跳间的干扰和最后一跳间的干扰)。选择路径时需尽量选取路径距离在 I 以上的路径对。

以图 1 为例, S 为源节点, D 为目的节点,最短路径上中继节点由深色标识,与中继节点之间距离小于 R 的节点用浅色标识,而与中继节点距离大于 R 的节点则以白色标识。当所选取的两条路径与最短路径的

距离均大于 R 时,则这两条路径间的距离大于 I 。图 1 中,上、下两条完全以白色节点组成的路径满足该条件,是最佳路径对。

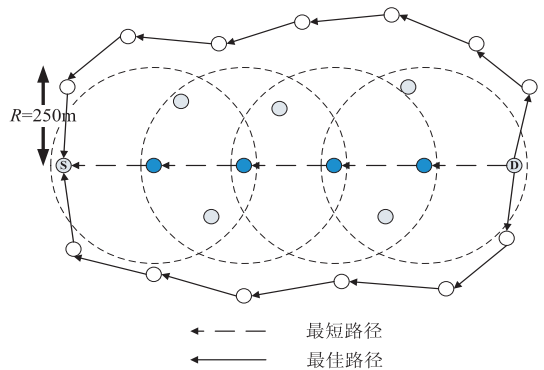


图 1 干扰范围和路径相关度计算示例图

2.2 IO-AOMDV 协议的相关度计算

当网络拓扑变化时,完全无干扰的路径对可能不存在(见图 2),为了保证该情况下仍能发现最佳路径对(此时路径对不是完全无干扰,而是干扰最低),IO-AOMDV 协议引入了节点相关度和路径相关度的概念。

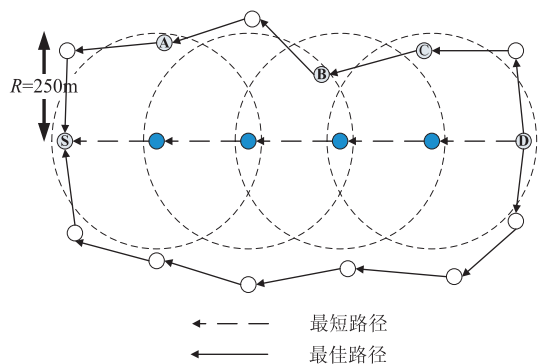


图 2 路径相关度计算示例图

对于某一节点 i ,节点相关度 $r(i)$ 表示的是最短路径上与节点 i 距离小于通信范围 R 的个数。图 2 中,节点 A 仅与最短路径上第一跳节点距离小于 R ,故 $r(A)=1$;同理可知 $r(B)=2, r(C)=1$ 。白色节点与最短路径距离均大于 R ,故其节点相关度均为 0。

某一路径的路径相关度表示该路径上节点相关度的总和。图 2 中,上部分最佳路径的相关度为 $4(r(A)+r(B)+r(C))$,下部分最佳路径的相关度则为 0。

为了能够建立出带有相关度权值的路径,IO-AOMDV 协议在路由表的路径列表中增加了一个“路径相关度”字段。

2.3 IO-AOMDV 协议基本机制

(1) 路由请求阶段。

IO-AOMDV 协议的路由请求过程和 AOMDV 一致,当源节点 S 有数据要发送而没有到目的的路由时,就广播一个 RREQ,中间节点收到 RREQ 时,建立到源节点的反向路径,同时继续广播这个 RREQ。为了抑制洪泛,每个中继节点只发送一次 RREQ,多余的

RREQ 仅用来更新反向路径。

(2) 路由回复阶段。

目的节点 D 收到第一个 RREQ 后,等待一定时间以确定到源节点 S 的最短路径(因为第一个接收到的 RREQ 不一定是沿最短路径发来),然后目的节点 D 沿着最短路径回复一个 Shortest_RREP。收到 Shortest_RREP 的中继节点,除了将这个 Shortest_RREP 沿反向路径发回给源节点外,为了能够正确完成路径相关度的计算,需要向自己的一跳邻居广播一个 Interf_NOTIFY 消息,该消息包含包类型标志、源节点 IP 地址、目的节点 IP 地址和广播 ID 号信息。当最短路径的一跳邻居节点收到 Interf_NOTIFY 消息后,需要更新该节点的源-目的(S-D)相关表(见表 1)。

表 1 节点的源-目的相关表格式

源节点 IP	目的节点 IP	广播 ID 号	节点相关度
--------	---------	---------	-------

如果节点是第一次收到 Interf_NOTIFY 消息,则新建一条源-目的相关表,将其路径相关度记初值 1;如果该节点已经建立了目源-目的路径相关表,则收到相同的 Interf_NOTIFY 时将对应记录的节点相关度数值加 1。

当 Shortest_RREP 消息被发送回源节点时,最短路径上中继节点均发送了一次 Interf_NOTIFY 消息,而收到该消息所有节点则成功记录其节点相关度权值。

目的节点发回第一个 Shortest_RREP 后等待一个充裕的时间,确保 Shortest_RREP 被源节点接收,并确保每一个最短路径上的节点已发送 Interf_NOTIFY 消息后,以广播方式向源节点再次发送 RREP。当节点 j 收到邻居节点 i 广播的 RREP 时,路由算法如下:

if(i 已有到目的节点的路由)

```

{
    if( $i$  中目的序列号 < RREP 中目的序列号)
    {
        更新前向路径( $j$ , lasthop); //  $j$  为到目的节点的下一跳
    }
    else if( $i$  中目的序列号 = RREP 中目的序列号)
    {
        if(路径不相关检验( $j$ , lasthop)); // 仅建立节点不相关
        路径
        {
            建立新的节点不相关路径;
        }
        else
        {
            忽略该 RREP 消息;
        }
    }
}
else
{

```

```

        忽略该 RREP 消息;
    }
else
{
    建立正向路径( $j$ , lasthop);
}
if( $i$  已发送过该 RREP)
{
    忽略该 RREP 消息;
}
else
{
    if( $i$  中不存在与 RREP 源-目的相匹配的相关表)
    {
        forward(RREP, NO_DELAY); // 立即转发
    }
    else
    {
        获取节点  $i$  的相关表中记录的节点相关度  $r$ ;
        RREP 中的路径相关度 +=  $r$ ;
        forward(RREP,  $nT$ ); // 延迟  $r$  个时隙  $T$  转发
    }
    记录节点  $i$  已发送了一次该 RREP; // 后续不再发送
}

```

中继节点 i 首先由 RREP 消息中所记录的目的序列号来判断消息的新旧,并利用新的消息更新自己到目的路径表。然后,判断自己是否已经发送过该 RREP 消息,如果已发送过,则忽略该消息;否则,查看自己的源-目的相关表中是否有该 RREP 所包含的源-目的对。如果没有,表示该节点不是源-目的最短路径的邻居节点(没有收到 Interf_NOTIFY 消息,即该节点与最短路径距离在 $l/2$ 以上,此时立即将 RREP 消息转发;如果查到匹配的源-目的相关表,则表示该节点与最短路径的距离在 $l/2$ 以内(如果选取该节点作为中继节点,可能对其他路径产生干扰),此时节点 i 将其相关表中的节点相关度 n 加入 RREP 的现有相关度中,并按此相关度延后 n 个固定时隙 T 广播这个 RREP。

由于抑制 RREP 洪泛,每个中继节点只广播一次 RREP。而前向路径建立时,通过判断路径第一跳和最后一跳的不同,仅建立节点不相关的路径。在采用上述延时机制发送 RREP 时,沿相关度低的路径发送回源节点的 RREP 较早被源节点收到,而沿相关度高的路径发送的 RREP,或者较晚发回到源节点,或者被相关度低的路径的中继节点抑制。最终,源节点可以成功建立起多条带路径相关度权值的节点不相关的前向路径。

(3) 数据发送阶段。

当源节点需要发送数据时,查看自己路由表中的路径表,选取其中路径相关度最小的两条路径,然后通过一个计数器使两条路径各自承担一半数据流。计数器每发送一个数据包就加1,计数器为奇数时选第一条路径,为偶数时选第二条路径。

3 仿真与性能分析

文中选择了分组投递率、吞吐量、端到端平均延迟三个参数来评估 IO-AOMDV 协议、AOMDV 协议和 IAMR 协议三者的性能差异。为了保证公平性,三种协议都采取同时使用两条路径发送数据的策略,每条路径各承担一半的数据流量。

3.1 仿真环境

仿真软件选用 ns2.34^[12]。仿真场景和文献[9]所述一致,大小为 2 000 m×1 000 m,节点个数为 200,仿真时间为 300 s,将场景分为 200 个 100 m * 100 m 的小块,每一个节点在每一块中的位置服从泊松分布。数据流对同样按文献[9]选取,每对数据流的最短跳数固定为 7 跳。每对数据流每秒发送 10~100 个数据包,每个数据包为 512 B。MAC 层选用 802.11 协议,节点最大传输范围为 250 m,信道带宽为 2 Mb/s。

3.2 仿真结果

仿真中,IAMR 协议找到了完全无干扰的路径对,IO-AOMDV 协议则找到了相关度为 0 的路径对,而 AOMDV 协议则仅使用了节点不相关的路径对来发送数据。

3.2.1 包投递率

图 3 显示了三种协议在不同发包频率下的平均包投递率。结果显示,AOMDV 协议的平均分组投递率在发包数达到 20 packets/s 时开始降低,而 IO-AOMDV 和 IAMR 协议则从 40 packets/s 才开始降低。IO-AOMDV 协议的平均投递率在发包数大于 40 packets/s 后比 IAMR 协议高 4%~8%,而比 AOMDV 协议多近一倍。

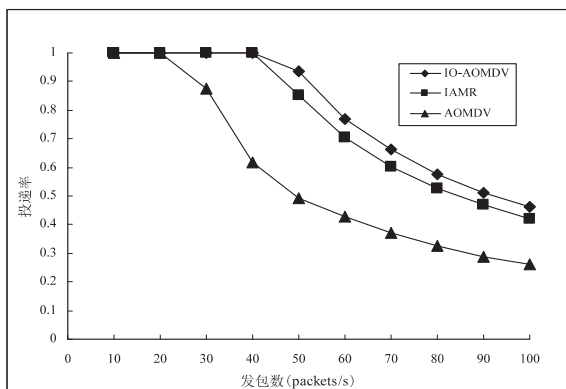


图 3 不同发包频率时的包投递率

与 AOMDV 协议相比,在发包数变大后,IO-AOM-

DV 协议避免了路径相关时不同路径上的节点之间的影响,降低了中继节点间 MAC 层冲突的可能性,使得路径之间的干扰大幅降低,从而提高了包投递率。另一方面,由于 IO-AOMDV 协议不需要维护邻居信息,即不需要发送 Hello 信息,因而避免了因 Hello 信息交互导致 MAC 层信号冲突时的包重传,从而更进一步地提高了网络平均投递率。

3.2.2 吞吐量

如图 4 所示,当发包数达到 40 packets/s 以上时,IO-AOMDV 协议的吞吐量可以达到 AOMDV 的近两倍,而比 IAMR 协议高约 10%。这说明,Hello 包开销一定程度上也会影响到吞吐量。

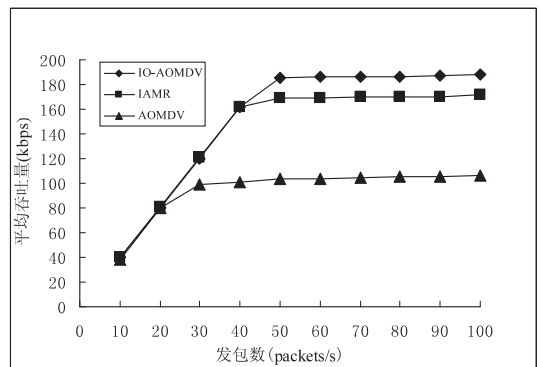


图 4 不同发包频率时的吞吐量

3.2.3 平均端到端延迟

如表 2 所示,当发包率小于 20 packets/s 时,三种协议的平均端到端延迟差异很小。而当发包率大于 40 packets/s 后,IO-AOMDV 协议的网络平均端到端延迟最小。这是因为 IO-AOMDV 协议对路径相关度做了最小化处理,降低了路径间的干扰,从而减少了路径间节点 MAC 层信号冲突的可能性,减小了 RTS/CTS 信息和包重传的机率,从而大幅地减小了延迟。另外,由于 IO-AOMDV 协议不需要发送 Hello 信息,因而比 IAMR 协议更进一步降低了 MAC 层的消息冲突。

表 2 不同发包频率下的平均端到端延迟

Packets/s	IO-AOMDV	IAMR	AOMDV
10	0.042 128	0.044 14	0.044 523
20	0.042 174	0.044 256	0.044 84
40	0.054 624	0.073 441	2.454 186
60	1.195 167	1.369 865	3.134 977
80	1.232 877	1.461 753	4.001 606
100	1.232 773	1.515 104	4.154 955

综上所述可以看出,在节点服从泊松分布的场景中,IO-AOMDV 协议在发包频率较高时,有着比 AOMDV 协议明显提高的网络性能。另一方面,由于不需要维护邻居信息,IO-AOMDV 协议可以近一步避免 Hello 信息对数据流发送所产生的影响,因而 IO-AOMDV 协议比 IAMR 协议有一定的性能提高。

3.3 协议适用性比较

当网络的节点密度降低到一定程度时,完全无关的路径对可能不存在,此时 IAMR 协议不再适用,而 IO-AOMDV 协议却仍然可以找到相关度不为 0 的路径来发送数据。例如图 2 所示的场景中,IAMR 协议无法找出两条完全无干扰的路径对,而 IO-AOMDV 协议则仍然适用。因而 IO-AOMDV 协议比 IAMR 协议具有更好的通用性。

4 结束语

文中针对无线多跳网络的多径路由协议中的路径间干扰问题进行了研究,在经典按需多径路由协议 AOMDV 的基础上提出了路径干扰优化 IO-AOMDV 协议。该协议可以通过路径相关度计算获取干扰最小的路径对,从而大幅降低路径干扰对网络性能的影响。另外,该协议对网络节点密度要求较低,可以适用于多种网络拓扑结构。仿真结果表明,IO-AOMDV 协议在包投递率、吞吐量、端到端平均延迟三个指标上可以得到比 IAMR 协议和 AOMDV 协议更好的网络性能。

参考文献:

[1] Azzedine B, Begumhan T, Aydin N. Routing protocols in ad hoc networks: A survey [J]. Computer Networks, 2011, 55 (13):3032-3080.

[2] Marina M K, Dad S R. On-demand Multipath Distance Vector Routing for Ad Hoc Network[C]//Proc. of IEEE International Conference on Network Protocols. Paris, France: IEEE Press, 2002:14-23.

[3] Perkins C, Belding-Royer E, Das S. Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV) Routing[S]. RFC3561, 1999.

[4] 杨 艳,杜庆伟. 一种具有负载感知的 WMN 多径路由协议[J]. 计算机技术与发展, 2012, 22(5):23-27.

[5] Huang Xiaoxia, Fang Yuguang. Performance Study of Node-Disjoint Multipath Routing in Vehicular Ad Hoc Networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58 (4):1942-1950.

[6] Ahn Chang-Woo, Chung Sang-Hwa, Kim Tae-Hun, et al. A Node-Disjoint Multipath Routing Protocol Based on AODV in Mobile Ad-hoc Networks[C]//Proc. of International Conference on Information Technology. Las Vegas, USA: IEEE CS Press, 2010:828-833.

[7] Nastooh T, Reza K, Bahram H, et al. ZD-AOMDV: A New Routing Algorithm for Mobile Ad-Hoc Networks[C]//Proc. of IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science. Shanghai, China: IEEE CS Press, 2009:852-857.

[8] Colvin. CSMA with Collision Avoidance [J]. Computer Communication, 1983 (6):227-235.

[9] Wang Zijian, Zhang Jun. Interference Aware Multipath Routing Protocol for Wireless Sensor Networks [C]//Proc. of IEEE Global Telecommunications Conference. Miami, USA: IEEE Press, 2010:1696-1700.

[10] Saha D, Toy S. An adaptive framework for multipath routing via maximally zone-disjoint shortest paths in ad hoc wireless networks with directional antenna [C]//Proc. of IEEE Global Telecommunications Conference. San Francisco, USA: IEEE Press, 2003:226-230.

[11] Buragohain C, Suri S, Toth C, et al. Improved throughput bounds for interference-aware routing in wireless networks [C]//Proc. of COCOON. Berlin: Springer, 2007:210-221.

[12] 于 斌,孙 斌,温 暖,等. NS2 与网络模拟[M]. 北京:人民邮电出版社, 2007.

(上接第 17 页)

参考文献:

[1] 魏庆勇,王阳明,陈久康. VC 环境下工业监控软件趋势曲线显示画面的实现[J]. 机电一体化, 2001(6):62-64.

[2] 刘晓军. 精通 Visual C++6.0[M]. 北京:清华大学出版社, 2004.

[3] 王新建,杨世凤,隋美丽. LabWindows/CVI 测试技术及工程应用[M]. 北京:化学工业出版社, 2006.

[4] 秦 锋,袁志祥,石 磊. 基于 Web 的远程数据监控系统的设计与开发[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(5):201-203.

[5] Li D, Serizawa Y, Kiuchi M. Concept Design for a Web-Based Supervisory Control and Data-Acquisition (SCADA) System [C]//Proc. of Transmission and Distribution Conference and Exhibition. [s. l.]: [s. n.], 2002:32-36.

[6] Tierney B, Ayd R, Gunter D. A grid monitoring architecture [EB/OL]. 2002. <http://www.ogf.org/documents/GFD.7.pdf>.

[7] 梁桂蓉. 基于 VC++ 的小型监控软件的研制 [J]. 成都理工大学学报, 2004, 31(5):541-545.

[8] Young M J. Mastering Microsoft Visual C++ [M]. [s. l.]: SYBEX Inc., 1996.

[9] 刘少波,沈 宇. 基于 LabWindows/CVI 的发电机励磁实时监测系统管理软件的设计 [J]. 测控技术, 2009, 28(8):76-78.

[10] 寇少杰,武玉强. 基于 VC++ 线程的动态数据曲线的绘制方法 [J]. 计算机应用研究, 2004(5):178-180.

[11] 冯全磊. 分布式轨道检测数据抽取与可视化研究 [D]. 大连:大连理工大学, 2012.

[12] 何先波,李志蜀,唐宁九,等. 面向通信领域的系统监控软件模块的设计与实现 [J]. 计算机应用研究, 2007(6):259-261.

一种路径干扰优化的多径距离矢量路由协议

作者: [符可可](#), [刘航](#), [郭达伟](#), [曹爱文](#), [FU Ke-ke](#), [LIU Hang](#), [GUO Da-wei](#), [CAO Ai-wen](#)
作者单位: [西北工业大学 自动化学院, 陕西 西安, 710129](#)
刊名: [计算机技术与发展](#)

ISTIC

英文刊名: [Computer Technology and Development](#)

年, 卷(期): 2013(9)

参考文献(12条)

1. [Azzedine B. Begumhan T. Aydin N Routing protocols in ad hoc networks:A survey](#) 2011(13)
2. [Marina M K. Dad S R On-demand Multipath Distance Vector Routing for Ad Hoc Network](#) 2002
3. [Perkins C. Belding-Royer E. Das S Ad hoc On-demand Dis-tance Vector \(AODV\) Routing](#) 1999
4. [杨艳. 杜庆伟 一种具有负载感知的WMN多径路由协议](#) 2012(05)
5. [Huang Xiaoxia. Fang Yuguang Performance Study of Node-Disjoint Multipath Routing in Vehicular Ad Hoc Networks](#) 2009(04)
6. [Ahn Chang-Woo. Chung Sang-Hwa. Kim Tae-Hun A Node-Disjoint Multipath Routing Protocol Based on AODV in Mobile Ad-hoc Networks](#) 2010
7. [Nastoo T. Reza K. Bahram H ZD-AOMDV:A New Routing Algorithm for Mobile Ad-Hoc Networks](#) 2009
8. [Colvin CSMA with Collision Avoidance](#) 1983(06)
9. [Wang Zijian. Zhang Jun Interference Aware Multipath Routing Protocol for Wireless Sensor Networks](#) 2010
10. [Saha D. Toy S An adaptive framework for multipath routing via maximally zone-disjoint shortest paths in ad hoc wireless networks with directional antenna](#) 2003
11. [Buragohainl C. Suri S. Toth C Improved throughput bounds for interference-aware routing in wireless networks](#) 2007
12. [于斌. 孙斌. 温暖 NS2与网络模拟](#) 2007

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201309005.aspx