

一种针对大规模 MANET 网络的融合路由策略

马 驰 张 宏 刘凤玉

(南京理工大学计算机科学与技术学院 南京 210094)

摘 要 针对移动自组网(MANET)大规模组网时普通路由算法性能明显下降的问题,利用分而治之的思想,提出了一种将 AODV 和时延容忍网络中喷雾等待路由相融合的路由方案 ADHR,即在反应式路由由扩展环区域内仍实施普通 AODV 路由策略,但是当源与目的节点距离超过扩展环半径时,自动地转入 DTN 的喷雾等待路由,使得 MANET 网络规模扩大时性能保持相对稳定。ONE 仿真平台实验结果表明,在大规模网络环境下,ADHR 的分组投递率等主要网络性能要优于纯 AODV 和喷雾等待路由。

关键词 路由,移动自组网,机会网络

中图分类号 TN915.04 **文献标识码** A

Integrated Route Strategy for Large Scale MANET

MA Chi ZHANG Hong LIU Feng-yu

(Institute of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract As the performance of large scale MANET with common Route method falls obviously, a novel ADHR route strategy which integrates AODV and Spay & Waiter protocols was proposed. In the range of AODV search extending ring, it still executes common AODV route protocol. But out of the range, the source node and the destination are too far away from each other, the Spay & Waiter protocol begins to work. By this way, the performance of large scale MANET becomes stable. The ONE experiment result shows that the main performance of ADHR (such as delivery rate) is better than AODV and Spay & Waiter route protocols.

Keywords Route, MANET, DTN

1 引言

移动 Ad-hoc 网络(MANET^[1])是一种不需要其他基础设施支持的自组织、自管理、无中心的多跳无线自主网络^[1],具有快速部署、易于扩展、通信节点可移动的优点,在军事、救灾、商业等领域有着广泛的应用前景。研究人员针对 MANET 网络设计了许多路由协议,如 AODV^[2], DSR, DSDV^[3], OLSR^[4], TORA^[5]等。这些协议通常在节点数量少、密度稀疏、拓扑较稳定的网络环境中性能良好,但是在大规模、拓扑结构复杂的网络环境中,性能会明显下降,使得 MANET 网络难于实现大规模部署。

导致上述现象的主要因素包括:

1) 路由洪泛开销巨大,降低性能。

大规模 MANET 网络具有节点数量多、密度高的特点。而目前比较成熟的 MANET 反应式路由协议,如 AODV, DSR 等,其路由发现的本质均是采用洪泛技术。虽然为了降低网络开销进行了基于生存期的扩展环改进,一定程度上降低了洪泛扩散范围,但是在大规模网络环境中,若要保证消息可达,无法缩小扩展环半径,洪泛路由这一固有特性还是会明

显降低 MANET 网络性能^[6]。

2) 平均路由跳数多,可靠性降低。

通常 MANET 节点的生存时间和运算能力是极有限的,使得网络中的节点不可靠。在大规模网络环境中,通信转发次数明显高于小规模 MANET 网络,转发节点的不可靠会进一步加大传输失败的概率。

3) 拓扑结构复杂,路由统一难。

在小规模 MANET 网络中,节点类型单一、拓扑结构简单。但是在大规模 MANET 网络中,节点类型多样、拓扑结构复杂。例如在战场环境,MANET 节点包括作战人员、装甲载具、飞行器等等;而在救灾场合,MANET 节点可能是救灾人员、救援车辆。这些节点由于自身的特性,使得不同类型节点间通信能力、电源续航时间、移动速度和范围均差异巨大,而且这种差异受到节点固有的限制,无法消除。因此,大规模 MANET 网络的组网必须面对节点异构、拓扑结构复杂的局面,使得已有 MANET 路由方法无法统一应用。

为了提高大规模 MANET 组网的性能,提出了一种自适应的混合路由 ADHR (AODV and DTN Hybrid Route)。本路由策略将反应式路由(Re-active Route)和机会网络 DTN^[7]

到稿日期:2010-07-15 返修日期:2010-11-12 本文受工信部“十一五”重点项目,国家自然科学基金(60803001),江苏省自然科学基金(BK2007593)资助。

马 驰(1983-),男,博士生,主要研究方向为机会网络和无线自组网抗毁,E-mail:ma_chixiang@yahoo.cn;张 宏(1956-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为数据挖掘和机器学习;刘凤玉(1943-),女,教授,博士生导师,主要研究方向为网络性能和信息安全。

(Disruption/Delay Tolerant Networks)的路由方法相结合,根据节点本身的特点自适应地调整路由策略,无缝连接各类通信节点。本文第2节首先介绍反应式路由和机会路由协议的研究状况以及路由融合的思想;第3节介绍ADHR路由策略设计原则和协议描述;第4节利用ONE^[8]仿真实验环境对不同路由策略进行对比试验,并对试验结果进行分析。

2 相关工作

2.1 反应式路由

MANET网络的路由协议可以分为先验式(Pre-active)路由协议和反应式(Re-active)路由协议。先验式路由协议的设计思路来源于传统路由算法,比较著名的有DSDV,OLSR等。它们的优点是路由反应时间短,缺点是协议中每个节点都需要周期性地维护路由信息,使得路由维护开销巨大,算法不宜收敛。反应式路由又叫按需路由,其设计思想是当且仅当需要发送数据时才开始路由发现,如AODV,DSR等。这就省去了周期性路由维护,使得路由算法适用于拓扑结构不断变化的环境,且易于实现和收敛。但反应式路由仍然具有洪泛路由的本质特性。

2.2 机会路由

机会网络DTN(Disruption/Delay Tolerant Networks)是一种时延和中断容忍网络。其通信的源与目标节点之间经常不可达,而利用节点间相互运动制造的短暂接触机会来实现互通的自组织网络。IRTF下设的时延容忍网络研究组(DTNRG)于2002年正式成立,专门研究DTN网络体系结构和路由协议。DTN路由协议的设计主要围绕最小化路由时延和最小化路由开销这两个互相约束的目标展开。已提出的路由方法有传染路由(Epidemic Routing)^[9]、单副本路由DTC^[10]、喷雾等待路由(Spray and Wait)^[11]。其中传染路由的路由时延最短,但路由资源消耗最大;单副本路由的资源消耗最小但时延最长;喷雾等待路由则针对以上两种路由的优缺点综合考虑,力图在最小化路由时延和最小化路由开销间实现平衡。

2.3 反应式路由和机会路由的融合

由于大规模MANET网络具有节点数量和密度大、节点异构、拓扑复杂的特点,单一使用任何现有MANET反应式路由协议都很难获得较佳的通信性能。如果只使用机会网络的路由方法,同样会导致临近节点间端到端通信性能的恶化,因此将这两种路由方法结合起来是一种合理的选择。利用普通MANET路由协议,如AODV进行搜索环区域内节点间的通信,利用DTN节点作为区域外较远节点间通信的中继,便可有效控制洪泛的规模,既能保证小范围端到端的通信性能,又使得远距离节点间通信可达。本质上这是一种分而治之的思想,使得大范围MANET网络整体性能得到保障。本文提出的ADHR路由策略对AODV和喷雾等待路由进行了融合的设计。

3 ADHR路由策略

3.1 ADHR设计原则

ADHR路由的设计遵循以下原则:

1)网络规模可扩展。ADHR路由策略旨在解决MA-

NET大规模组网问题,因此,ADHR路由在网络规模扩大的同时,各主要性能指标,如归一化分组投递率、平均传输时延、路由开销等不应像普通MANET路由协议那样出现明显下降,而应保持足够的稳定。

2)协议融合而非叠加。ADHR路由策略是一种混合的路由方法,需要透明而平滑的协议过渡。要尽量利用两种协议本身固有的协议过程和报文格式来设计融合的路由方法,最大限度地减少路由开销和协议转换。

3)自适应的路由选择。ADHR路由策略的另一目标是自适应地兼容MANET和DTN两种网络的路由方法。从AODV路由转换到喷雾等待路由的触发条件需要根据网络状况自主决策。

3.2 ADHR协议所需的扩展

ADHR是一种融合的路由策略。为了提高路由效率和有效载荷,ADHR尽量利用AODV已有的RREQ和RREP报文进行扩展,并利用TTL值来约束扩展环范围,减少寻路负载。为了兼容喷雾等待路由,需要对RREQ和RREP报文以及路由表进行扩展:

1)在RREQ报文中添加DTN寻路许可标识DRP(DTN Router Permission),用于指示是否同意在适当的情况下自适应地转入DTN路由过程。并不是所有的通信都需要扩散到全网,对于邻居和已知扩展环区域内节点的通信无需再进行DTN兼容的路由发现过程,要最大限度减少不必要的路由报文和计算开销。

2)在RREQ报文中添加已发现的DTN节点计数DNC(DTN Node Count),每找到一个合适的DTN节点,便将该计数减一,用于控制DTN路由的节点数量。

3)为了获取合适的DTN节点,还需要给RREQ添加一个DTN策略标志位DSN(DTN Strategy Number)。本文只给出了3种策略:0表示混合策略;1表示历史接触优先;2表示先发现优先。

4)为了使源节点获取DTN节点的信息,需要在RREP中添加DTN节点列表,并且每一个DTN节点地址需要附加一个路由优先级DCP(DTN Node Chosen Priority)。这里规定对于通过历史接触优先策略获取的DTN优先级较高,设为1;而通过先发现优先策略获取的DTN优先级较低,设为2。

5)为了配合DRP工作,需要在路由表中添加路由方式标识DFF(DTN Forward Flag),以区别普通路由和DTN路由。

6)为了配合DSN标志(为0或2时)工作,需要在DTN路由兼容的节点中添加历史接触节点列表,将一段时间内曾经接触过的节点地址记录起来。为了防止这些信息过多占用资源,可以采用Hash算法将地址散列。但是散列空间的大小决定着判断的准确度。

图1、图2是RREQ和RREP报文的扩展。

| Type | J | R | G | D | U | Hop Count |
|-----------------------------|---|---|---|---|---|-----------|
| RREQ ID | | | | | | |
| Destination IP Address | | | | | | |
| Destination Sequence Number | | | | | | |
| Originator IP Address | | | | | | |
| Originator Sequence Number | | | | | | |

图1 RREQ报文扩展

| | | | | | |
|-----------------------------|--------|--------|----------|-----------|-----------|
| Type | N | A | Reserved | Prefix Sz | Hop Count |
| Destination IP Address | | | | | |
| Destination Sequence Number | | | | | |
| Originator IP Address | | | | | |
| Lifetime | | | | | |
| DNC | DCP(1) | DCP(2) | | | |
| DTN Node IP Address(1) | | | | | |
| DTN Node IP Address(2) | | | | | |

图2 RREP报文扩展

3.3 ADHR 协议路由发现过程

3.3.1 ADHR 的 RREQ 扩散过程

图3是ADHR协议的RREQ扩散过程。图中, N 为普通节点, D_i 为DTN兼容节点。

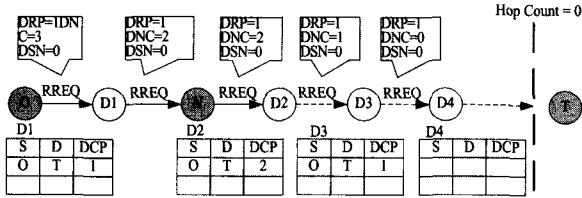


图3 ADHR路由RREQ扩散

(1)当源节点 O (Originator) 需要向目标节点 T (Target) 通信时, 首先查看路由表。如果发现目标节点 T 不在表中, 则启动路由发现过程, 发送 RREQ 广播包。

(2)当 RREQ 被普通 AODV 节点接收, 仍按照 AODV 协议的方式处理。

(3)当 RREQ 被 DTN 路由兼容节点接收, 会查看 DRP。如果 $DRP=1$, 且 $DNC \neq 0$, 则会在以下情况添加此 RREQ 记录, 为下一步 DTN 路由做准备:

若 $DSN=1$, 则查询历史接触记录, 如果发现曾经和 T 接触过, 则添加并设置 DCP 值为 1, 否则不添加;

若 $DSN=2$, 直接添加, 并设置 DCP 值为 2;

若 $DSN=0$, 直接添加, 并查询历史接触记录, 曾经接触过, 则设置 $DCP=1$, 否则 $DCP=2$;

添加完成后, 将 DNC 值减 1, 并启动定时器。然后将修改过的 RREQ 报文继续转发。

(4)如果 RREQ 报文在 Hop Count=0 之前被目标节点接收, 则进入普通 AODV 的 RREP 响应过程。反之, 则准备进入 DTN 路由过程。

3.3.2 ADHR 的 RREP 响应过程

图4是ADHR协议对普通AODV协议RREP响应的扩展。

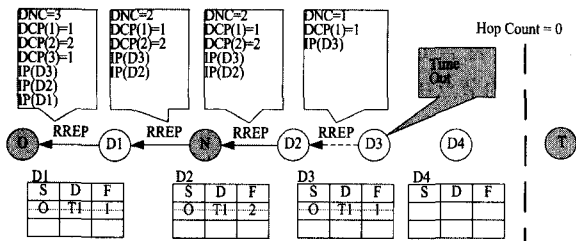


图4 ADHR路由RREP反向响应

(1)如果 RREP 被目标节点 T 接收, 则正常的 RREP 响应过程不受干扰。当 DTN 兼容节点收到 RREP 报文时, 检查缓存的 RREQ 表。如果存在此 RREP 对应的 RREQ 表项, 则只需简单地删除此表项即可。

(2)如果 RREQ 未被目标节点 T 接收, 即源与目的节点

距离超出扩展环范围, 则没有 RREP 报文返回。由于在 RREQ 过程中 DTN 节点启动了定时器, 当超时发生时, 则进入 DTN 节点主动的 RREP 回应过程。

(3)DTN 节点会构造 RREP 报文, 将 DNC 值加 1 (初始 $DNC=0$), 并将相应的 DCP 和自身的 IP 地址添加进 RREP 报文, 同时要删除 RREQ 缓存表项。

(4)普通 AODV 节点接受 RREP 报文, 正常处理。例如更新到 DTN 节点的路由表项。

(5)最后源节点 O 将收到含有若干个 DTN 节点以及其优先级的 RREP 报文。通过这些报文, 源节点可以准备发起 DTN 路由。

3.4 ADHR 的 DTN 路由过程

3.4.1 DTN 节点的选择

经过上述 RREQ 和 RREP 过程, 源节点可以获得关于目标节点 T 的所有相关 DTN 路由信息。

如图5所示, 由于 RREQ 和 RREP 会同时通过多条路径进行扩散, 因此源节点 O 下一步的 DTN 路由会有很多选择。这里需要选择比较优的 DTN 节点, 负责下一步的 DTN 路由。选择的原则如下:

1) 优先选择 $DCP=1$ 的节点负责 DTN 路由。由于该 DTN 节点曾经和目标节点接触过, 因此该节点和目标节点再次接触的机会也应越高。这一点特别适用于 DTN 节点沿一定轨迹(道路、航线)移动的情况^[12]。

2) 相同情况下, 选择离源节点远的节点负责 DTN 路由。由于 RREP 是反向过程, 且 DTN 节点采用追加方式, 因此通常选择 RREP 报文中最新前面的 DTN 节点。

3) 在不同的路径上选择 DTN 节点。这有利于增加 DTN 路由的扩散范围。

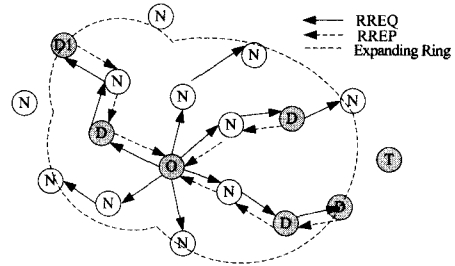


图5 扩展环半径为3的路由发现示意图

为了实现更广泛的应用, 本文并未假设 DTN 节点本身可以获得更多的信息, 如运动方向、速度等, 因此这里不分析这些因素。实际上, 在特定场合中, 如 DTN 节点是载具、飞行器, 完全可以优先选择运动速度快、反向运动的 DTN 节点。

3.4.2 DTN 路由过程

基于时延和路由开销相平衡的原则, 采用了喷雾等待方式进行 DTN 路由。

设 DTN 节点 $m, n \in V$ (DTN 节点集), m, n 之间通过发送 Hello 消息感知对方的存在, 通过维护副本计数 DCC (Data Copy Count) 来控制副本转发数量。

设源节点为 O , 目标节点为 T , 若 O 到 T 不存在 AODV 路由, 则自动进入 DTN 路由方式。以下是路由算法描述。

1. Select two DTN nodes in DTN node set by O

$N \leftarrow \{ n | n \in V \} // \text{DTN nodes set}$

if $N.size=0$ then

```

End with failure //DTN node is not existed
endif
if N.size=1 then
    SN ← N //SN means selected DTN nodes set
    End with Success
endif
if N.size ≥ 2 then
    SN ← {n1, n2 ∈ {x|x ∈ V and x.DCP=1}}
    if SN.size=1 then
        SN ← SN + {n1 ∈ {x|x ∈ V and x.path ≠ y.path, y ∈ SN}}
    else
        if SN.size = 0 then
            SN ← {n1, n2 | n1, n2 ∈ V and n1.path ≠ n2.path}
        endif
    endif
    End with Success
endif
II. Send Data to Selected DTN node from O
if SN.size=1
    send data to n, n ∈ SN
    set n.DCC to MAX //the total number of copies
else
    if SN.size=2
        send data to {m, n | m, n ∈ SN}
        set m.DCC and n.DCC to MAX/2
    endif
endif
III. Data exchange between DTN nodes until to T
u, v ∈ V and u ≠ v
if u receive msg(Hello message) then
    if msg.node=v then
        if u.DCC > 1 then
            send data to v
            set u.DCC=u.DCC/2
            set v.DCC=u.DCC/2
        endif
    else
        if msg.node=T then
            if u.DCC > 0 then
                send data to T
                set u.DCC=0
            endif
        else
            if msg.node=other node
                do nothing
            endif
        endif
    endif
endif
if u.DCC=1

```

如算法所述,每当携带数据的DTN节点遇到另一个DTN节点,首先将数据传播出去,然后将副本计数减半。当副本计数为1时,则不再向其他DTN节点散播,从而控制了副本传播数,降低了路由负载。当遇到目标节点后,传播数据,并将计数置0。整个路由过程类似构建一棵二叉树,使得副本充分覆盖网络中散布的DTN节点,提高了DTN路由成

功的概率。

4 仿真与分析

本文在机会网络仿真平台 ONE 上,对 AODV, Spray and Wait, Epidemic, ADHR 进行对比试验。为了测试 ADHR 是否达到设计目标,设计了如下两种实验场景:

- (1)网络规模扩展测试;
- (2)DTN 策略测试。

表 1 是测试用的主要仿真参数。

表 1 主要仿真参数

| 仿真参数 | 参数值 |
|------------|-------------|
| 移动模型 | 随机路点+固定轨迹 |
| 普通节点最小速度 | 10m/s |
| 普通节点最大速度 | 20m/s |
| DTN 节点最小速度 | 20m/s |
| DTN 节点最大速度 | 30m/s |
| 停留时间 | 0 |
| 区域范围 | 3000m×3000m |
| 消息大小 | 1024kB |
| DTN 缓存 | 50M |
| 节点数 M | 100~500 |
| 节点功率覆盖 | 250m |
| 扩展环 TTL | 4 |
| 仿真时间 | 500 |

4.1 网络扩展性测试

提出 ADHR 的根本原因是 AODV 等协议在大规模网络环境中性能明显下降。因此,首先进行了 ADHR 对于网络扩展的适应性测试。网络中节点规模从 50 到 500,并且选取其中 20%作为 DTN 兼容性节点。这些节点沿指定轨迹运动,运动速度比普通 AODV 节点要快。

从图 6 可以看出,当网络节点超过 200 时,AODV 路由协议的性能明显下降,但是 ADHR 的性能仍然保持了一定的稳定。这说明 ADHR 实现了当初的设计目标,在大规模 MANET 中表现出良好的分组可达性。另外,由于 ADHR 含有与 Epidemic 和 Spray and Wait 类似的路由方法,因此这 3 者的分组投递率基本类似。

从图 7 可以看出,ADHR, Spray and Wait 和 Epidemic 的平均路由时延均比 AODV 高,这是因为 DTN 路由算法本身就允许稍高的路由时延。另外,ADHR 的路由时延优于 Spray and Wait,而逊于 Epidemic,这是因为 Epidemic 使用了资源消耗更大的副本传播方法。综合图 6 和图 7,说明 ADHR 实现了分组投递率和分组传输时延的较好平衡,拥有比纯 AODV 和 Spray and Wait 更好的性能。

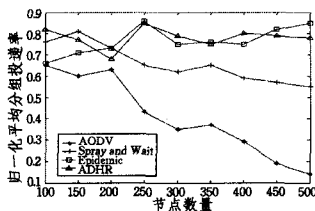


图 6 归一化分组投递率随节点数的变化

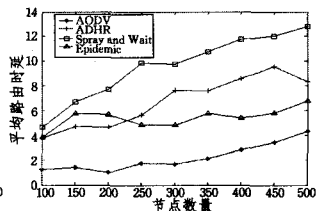


图 7 平均路由时延随节点数的变化

4.2 DTN 策略测试

ADHR 需要自主选择兼容节点进行最后阶段的 DTN 路由。本文提出了 3 种 DTN 兼容节点的加入策略。哪种策略

更优,需要进行实验。

图 8 是不同策略平均路由时延的变化曲线。可以发现,这 3 种策略的平均路由时延差异基本不大,但是 DCP=1(历史接触优先)和 DCP=0(默认策略)比 DCP=2(先发现优先)的策略稍好。历史接触优先比简单的先发现先被选为 DTN 转发节点的策略要好。

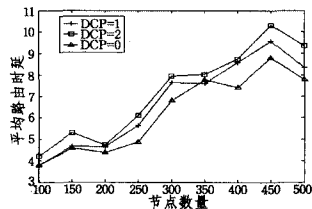


图 8 不同策略下平均路由时延随节点的变化

结束语 设计了一种融合 AODV 和喷雾等待路由的新路由策略。通过限制扩展环扩散范围和提供较远节点间 DTN 的中继转发,实现了在 MANET 网络规模扩大时分组投递率和平均路由时延仍较为平稳的目标。在大规模网络环境下,分组投递率明显优于普通 AODV 的路由方法。

但是 ADHR 融合的路由策略仍有一些有待完善的地方。例如,平均传输时延比 AODV 要高,需要进一步降低传输的平均时延。另外,DTN 节点的选择策略还可以进一步探索,可以针对节点本身特性提出更优的选择方案。

参 考 文 献

[1] Yi Y J, Mario G, Taekin K. Efficient Flooding in Ad-hoc Networks Using On-demand (Passive) Cluster Formation[A]// Proceedings of the Second Annual Mediterranean Ad-hoc Networking Workshop[C]. Med-hoc-Net, 2003

[2] Perkins C, Belding-Royer E. Ad-hoc On-demand Distance Vector

(AODV) Routing[R]. IETF RFC3561. July 2003

[3] Perkins C E. Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers[C]// ACM. 1994

[4] Clausen T, Jacquet P, Laouiti A, et al. Optimized Link State Routing Protocol[S]. IEEE INMIC Pakistan, 2001

[5] Temporally-Ordered Routing Algorithm (TORA)[EB/OL]. http://www.ietf.org, 2001

[6] Himabindu P, Saumit M D, Y C H. The Performance Impact of Traffic Patterns on Routing Protocols in Mobile Ad-hoc Networks[C]// ACM MSWiM'04. 2004

[7] 肖明军, 黄刘生. 容迟网络路由算法[J]. 计算机研究与发展, 2009, 46(7): 1065-1073

[8] The ONE (The Opportunistic Network Environment simulator) [EB/OL]. http://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/dtn/theone/. 2009

[9] Vahdat B D. Epidemic Routing for Partially Connected Ad-hoc Networks[R]. CS-2000-06. Durham, NC: Department of Computer Science, Duke University, 2000

[10] Chen X, Murphy A L. Enabling Disconnected Transitive Communication in Mobile Ad-hoc Networks[C]// Proceedings of the Workshop on Principles of Mobile Computing. 2001

[11] Spyropoulos T, Psounis K, Raghavendra C S. Spray and Wait: An Efficient Routing Scheme for Intermittently Connected Mobile Networks[C]// Proceedings of the ACM SIGCOMM 2005 Workshop on Delay Tolerant Networks. 2005

[12] Spyropoulos T, Psounis K, Raghavendra C S. Spray and Focus: Efficient Mobility-assisted Routing for Heterogeneous and Correlated Mobility[C]// Proceedings of IEEE PERCOM on the International Workshop on Intermittently Connected Mobile Ad hoc Networks. 2007

(上接第 87 页)

500bytes, 一个簇内 20 个节点的能耗仿真结果如图 6 所示。

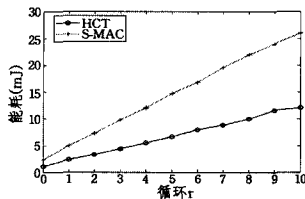


图 6 HCT-MAC 和 S-MAC 能耗比较

HCT-MAC 有更少的能量消耗,与 S-MAC 相比,降低了因通信量过大产生的碰撞机率,因此降低了系统的能耗。

结束语 本文经过分析无线传感器网络能量模型,发现当簇首节点数目小于簇内节点数目时,混合 TDMA 与 CDMA 机制传输的能耗是最小的,由此设计了一种基于 TDMA, CDMA 混合的无线传感器网络 MAC 协议,该协议具有较好的抗冲突性,簇间可以同时进行通信。本文的协议基于在不同的簇内成员之间通信不影响,下一步将考虑通过增加簇标识的方法来实现两个邻簇通信会相互影响的情况;另一方面,将本协议应用在大规模的真实传感器网络中也是下一步要研究设计的目标。

参 考 文 献

[1] 孙利民, 李建中. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社,

2005

[2] Kernal A, Mohamed Y. A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Network[J]. Elsevier Ad-hoc Network, 2005, 3(3): 325-349

[3] Zhany Y, He C, Jiang L. Modeling the S-MAC protocol in single-hop wireless sensor networks[C]// IEEE International Conference on Communications. 2008; 317-321

[4] Asada G, Dong M, Lin T S. Wireless Integrated Network Sensors (WINS) for Tactical Information Systems[C]// Proceeding of 1998 European Solid State Circuits Conference. New York: ACM Press, 1998; 15-20

[5] Hayajneh M, Khalil I, Gadallah Y. An OFDMA-based MAC protocol for under water acoustic wireless sensor networks [C]// Proceedings of the 2009 ACM International Wireless Communications and Mobile Computing Conference, IWCMC 2009. 2009; 810-814

[6] Guo C, Zhong L, Rabaey J. Low-power distributed MAC for ad-hoc sensor radio networks [C] // Proc Internet Performance Sym. San Antonio, TX, 2001; 2944-2948

[7] Wendi R, Anantha C, Hari B. Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks[C]// Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences. 2000

[8] Tao S, Marwan K. Energy-efficient power/rate control and scheduling in hybrid TDMA/CDMA wireless sensor networks [J]. Computer Networks, 2009, 53(9): 1395-1408