

基于 TDMA 与 CDMA 混合的传感器网络 MAC 协议

古志春¹ 肖德琴^{1,2}

(华南农业大学信息学院 广州 510642)¹

(华南农业大学南方农业机械与装备关键技术省部共建教育部重点实验室 广州 510642)²

摘 要 MAC 协议是保证无线传感器网络正常运作、高效通信的关键。无线传感器网络的无线信道分配机制主要有随机竞争机制、TDMA 机制、FDMA 机制以及 CDMA 机制。基于随机竞争的 MAC 协议存在空闲侦听和数据碰撞等能耗问题;基于 TDMA 和 FDMA 的 MAC 协议存在扩展性差的问题;基于 CDMA 则存在较多额外能耗开销的问题。在分析纯 TDMA、纯 CDMA 和 TDMA/CDMA 混合的能耗模型的基础上,提出了一种基于分簇的 TDMA/CDMA 混合的 HCT-MAC 协议,它较好地解决了低时延和冲突干扰问题,其簇内节点采用 TDMA 机制进行信道分配,避免碰撞串扰问题,从而实现低延迟快速上传数据;簇首节点则采用 CDMA 机制,避免多跳同步问题,增强可扩展性。

关键词 无线传感网络,信道分配,TDMA,CDMA

中图分类号 S126, TP393.04 文献标识码 A

TDMA/CDMA Hybrid MAC Protocol for Wireless Sensor Network

GU Zhi-chun¹ XIAO De-qin^{1,2}

(College of Informatics, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)¹

(Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)²

Abstract An efficient MAC protocol is one of the keys for long-time working and high-performance communication of WSN. There are several mechanisms for wireless channel allocation, such as Contention-base Random Access, TDMA (Time Division Multiple Access), FDMA(Frequency Division Multiple Access) and CDMA(Code Division Multiple Access). According to WSN, the CSMA-based MAC protocol has disadvantages like idle listening and collision; the TDMA-based and FDMA-based MAC protocol has low scalability problem; the CDMA-based MAC protocol has the problem of additional power consumption. After analyzing energy model of the pure TDMA, pure CDMA and hybrid TDMA/CDMA, the paper presented a hybrid TDMA/CDMA MAC protocol based on cluster, which can solve the low latency and the conflict with interference. The protocol proposes the cluster nodes use TDMA and the cluster heads use CDMA. MAC could achieve collision avoidance and low latency in clusters, and do not have to ensure high accuracy synchronization between each cluster, so that the scalability of the sensor network would be enhanced.

Keywords Wireless sensor network, Channel allocation, TDMA, CDMA

1 引言

媒体介质访问控制(Medium Access Control, MAC)协议处于无线传感器网络协议的底层部分,主要用于在传感器节点间公平有效地共享通信媒介,对传感器网络的性能有较大影响,是保证无线传感器网络有效通信的关键网络协议之一^[1]。无线传感器网络 MAC 协议从技术上可分为:基于载波侦听多址接入/冲突避免(CSMA/CA)技术、时分多路复用(TDMA)技术、频分多路复用(FDMA)技术和码分多路复用(CDMA)技术。

基于载波侦听多址接入/冲突避免(CSMA/CA)技术的

MAC 协议,其网络的可扩展性较强,但需重点考虑由于节点间的干扰、碰撞、空闲侦听和串音等造成的能量消耗。无线局域网里,该类型的典型代表是 IEEE802.11 MAC 协议^[2];在 IEEE802.11 MAC 协议的基础上,研究者提出了一些用于无线传感器网络的基于 CSMA/CA 的 MAC 协议。S-MAC (Sensor MAC)协议^[3]是一种以 CSMA 为基础、基于竞争的 MAC 协议。它采用了类似 IEEE802.11 MAC 协议的冲突避免机制。T-MAC(Timeout MAC)协议是对 S-MAC 的改进,它在 S-MAC 协议的基础上引入了适应性占空比。基于时分多路复用(TDMA)技术的 MAC 协议的这些特点相当适合 WSN 节省能量的设计要求,但是,维护全网的时钟同步是一

到稿日期:2010-07-19 返修日期:2010-10-10 本文受广东省自然科学基金(9251064201000008,8151064201000037),国家基金重点(U0931001)资助。

古志春(1985-),女,研究生,主要研究领域为无线传感器网络,E-mail:zhichun573@163.com;肖德琴(1970-),女,博士,教授,硕士生导师,主要研究领域为计算机网络与无线传感器网络,E-mail:deqin_x@163.com(通信作者)。

个难题,同时也会增加网络控制帧的数量,由此造成能量消耗。L-MAC^[4](Lightweight MAC)是基于 TDMA 的无线传感器网络 MAC 协议的典型代表,它采用了一种分布式时隙分配算法,而非传统的集中式管理。基于频分多路复用(FDMA)技术的 MAC 协议^[5]对节点的要求较高,文献^[6]设计的无线传感器网络自组织 MAC 协议是一种 TDMA 技术和 FDMA 技术相结合的 MAC 协议,具有典型的代表性。基于码分多路复用(CDMA)技术的 MAC 协议^[6],不需要严格的时间同步,时延小,抗干扰,可扩展性较好。但 CDMA 的编码解码过程较为复杂,会带来额外的能量消耗。文献^[6]介绍了一种基于 CDMA 技术的 MAC 协议,设计了伪随机码分配算法。

文献^[7]的 LEACH 协议的稳定工作阶段,各个簇首节点采用 TDMA/DSSS 技术依次接受簇内成员采集传输的数据;簇间,簇首节点采用 CSMA 竞用信道。LEACH 协议规定每个簇内应用不同的 CDMA 码来减少相邻簇的干扰。

文献^[8]结合 TDMA 和 CDMA 的优势,提出了一种混合的 MAC 协议,它提出簇内成员采用 CDMA 机制,簇首间采用 TDMA 机制,但是它要求严格的时间同步,这对于大规模范围的网络应用场景,尤其簇数量众多,簇间间距较大的网络来说,这一点要求难以得到满足,同时,未具体地分析 TDMA/CDMA 混合进行信道分配的应用策略。

本文在文献^[8]的基础上,从节能、时延和抗干扰性需求进行考虑,根据 Heinzelman 能耗模型,分析了纯 TDMA、纯 CDMA 和 TDMA/CDMA 混合三种不同协议下的能耗模型,在此基础上设计了一种基于 TDMA 与 CDMA 混合的新型 MAC 协议 HCT-MAC(Hybrid CDMA/TDMA)协议,它可应用于大规模无线传感器网络组网设计。

2 Heinzelman 能量模型及网络模型假定

首先给出 Heinzelman^[7]基础能量模型,以及本方案所应用的网络模型。

2.1 能量模型

本文以 Heinzelman 提出的传感器节点能耗模型^[7]为基础,将一个 k bit 的信息传送距离 d 。射频电路的发送耗能和接收耗能以及处理器模块的能量消耗分别以式(1)、式(2)和式(3)表示。

$$P_T(k) = E_{dec} * k + E_{amp} * d^y * k \quad (1)$$

$$P_R(k) = E_{dec} * k \quad (2)$$

$$P_{cpu}(k) = E_{cpu} * k \quad (3)$$

式中:

E_{dec} (nJ/bit) 是发射装置和接收装置每发送或接收单位 bit 的能量消耗;

E_{amp} (pJ/bit/m²) 是发射放大器将每 bit 数据传送单位平方米所耗的能量;

E_{cpu} (nJ/bit) 是处理器模块处理数据消耗的能量,比如数据融合等;

y 为传播衰减指数, $2 \leq y \leq 5$, 取值由周围环境决定,当网络环境平坦无障碍时, y 取值为 2; 当建筑物和植被茂密的区域进行远距离传输时, y 取值为 3~5。

2.2 网络模型

建立一个树形结构的网络模型,有如下假设:所有簇的簇

成员节点直接跟簇首通信,即一跳可达其簇首;假设不同簇的成员之间,通信不会影响,而同一个簇的成员,通信会相互影响。

对于一个具有 m 层、每簇至多 n 个子簇或子节点的网络来说,本文假定其网络模型可描述为 $V = \{v_{ijk} | i \in (1, m), j \in (1, n), k \in (1, n)\}$, i 表示在整个网络中所处的层数; j 表示节点所在层的簇数; k 表示所在簇的第几个节点。

为了描述简便,后面考虑分析一个三层的网络模型,更多层的模型可以叠加而成,分析方法类似。在这个三层模型中,符号表示如下: S_0 代表汇聚节点;簇首的集合 $V_0 = \{v_{10}, v_{20}, \dots, v_{m0}\}$;簇内成员的集合表示为 $V_i = \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in}\}$, v_{ijk} 仅与其上级簇首节点 v_{i-1j0} 通信。

下面针对上述三层网络模型,分如下 3 种传输协议的能耗模型,为提出新的协议模型提供基础。

(1) 簇内、簇首之间都用 TDMA 机制;

(2) 簇内、簇首之间都采用 CDMA 机制;

(3) 簇内节点采用 TDMA 机制,簇首节点之间采用 CDMA 机制。

3 三种能耗模型分析对比

根据上一节的网络模型,将建立 3 种对应的能量消耗公式。统一考虑了发送耗能、接收耗能以及处理器模块 3 方面的能量消耗。

3 种情况的能量消耗都是簇成员的能耗加上簇首节点的能耗。假设每个传感器节点发送的数据包长度是固定的,都为 k bit,簇成员的能量消耗有两个部分:发送模块和处理器模块的耗能,由于簇成员不需要转发其他节点的能量,各节点一跳到簇首,因此,簇成员没有接收模块方面的耗能,能耗公式由两个部分组成,即发送模块耗能和处理器模块耗能,计算如式(4)所示。

$$(E_{dec} * k + E_{amp} * d_i^y * k + E_{cpu} * k) \quad (4)$$

簇首节点能耗公式由 3 个部分组成,发送模块、接收模块和处理器模块,如式(5)所示。

$$(2E_{dec} * k + E_{amp} * d_i^y * k + E_{cpu} * k) \quad (5)$$

当簇内成员采用 TDMA 机制传输时,簇成员个数为 n ,网络的时延为 T_1 ,一个簇的能量消耗如式(6)所示。

$$T_1 \sum_{i=1}^n (E_{dec} * k + E_{amp} * d_i^y * k + E_{cpu} * k) \quad (6)$$

当簇内成员采用 CDMA 机制传输时,簇成员个数为 n ,每个节点发送 k bit 数据,经过 CDMA 编码后,数据长度为 nk bit,假设网络的时延为 T_2 ,一个簇的能量消耗如式(7)所示。

$$T_2 \sum_{i=1}^n (E_{dec} * nk + E_{amp} * d_i^y * nk + E_{cpu} * k) \quad (7)$$

簇首之间采用 TDMA 机制时,簇首个数为 m ,网络时延为 T_3 ,每个簇首发送 k bit 的数据,接收 k bit 数据,那么所有簇首的能量消耗如式(8)所示。

$$T_3 \sum_{j=1}^m (E_{dec} * k + E_{amp} * d_j^y * k + E_{cpu} * k + E_{dec} * k) \quad (8)$$

簇首之间采用 CDMA 机制时,簇首个数为 m ,每个簇首发送 k bit 的数据,经过 CDMA 编码后,数据长度为 mk bit,假设网络的时延为 T_4 ,所有簇首的能量消耗如式(9)所示。

$$T_4 \sum_{j=1}^m (E_{dec} * mk + E_{amp} * d_j^y * mk + E_{dec} * k + E_{cpu} * k) \quad (9)$$

分析上一节的网络模型总的能量消耗,本文建立的能量模型对于3种机制来说,主要的不同在于数据包长度和时延两个方面。假定每个簇成员发送 k bit 数据到汇聚节点,分3种情况:

(1) 纯 TDMA 机制传输的总能耗为簇成员的能量消耗和簇首的能量消耗之和,可由式(6)和式(8)计算出,如式(10)所示。

$$E_{tdma} = T_1 \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (E_{elec} * k + E_{amp} * d_{ij}^2 * k + E_{cpu} * k) + T_3 \sum_{j=1}^m (E_{dec} * nk + E_{amp} * d_j^2 * nk + E_{cpu} * nk) + T_1 * m * E_{elec} * nk \quad (10)$$

(2) 纯 CDMA 机制传输的总能量,可由式(7)和式(9)计算出,如式(11)所示。

$$E_{cdma} = T_2 \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (E_{elec} * nk + E_{amp} * d_{ij}^2 * nk + E_{cpu} * k) + T_4 \sum_{j=1}^m (E_{dec} * mnk + E_{amp} * d_j^2 * mnk + E_{cpu} * nk) + T_2 m E_{elec} * nk \quad (11)$$

(3) 文献[8]提出的混合 MAC 协议、簇内用 CDMA 机制、簇首用 TDMA 机制,可由式(7)和式(8)计算出其总能耗,如式(12)所示。

$$E_8 = T_2 \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (E_{elec} * nk + E_{amp} * d_{ij}^2 * nk + E_{cpu} * k) + T_3 \sum_{j=1}^m (E_{elec} * nk + E_{amp} * d_j^2 * nk + E_{cpu} * nk) + T_2 m E_{elec} * nk \quad (12)$$

HCT-MAC 协议可由式(6)和式(9)计算出其总能耗,如式(13)所示。

$$E_{hybrid} = T_1 \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (E_{elec} * k + E_{amp} * d_{ij}^2 * k + E_{cpu} * k) + T_4 \sum_{j=1}^m (E_{dec} * mnk + E_{amp} * d_j^2 * mnk + E_{cpu} * nk) + T_1 m E_{elec} * nk \quad (13)$$

从式(10)~式(13)可以看出,它们的不同之处在于时延 T 和数据包长度,TDMA 机制时延 T 大,但是数据包长度较小。而 CDMA 时延较小,但是数据包长。

4 HCT-MAC 协议方案设计

从上一节得出的能耗公式,分两种情况分析,一方面是混合机制和 TDMA 机制的能耗比较,另一个方面是混合机制和 CDMA 机制的能耗比较。

分析式(10)和式(13),由于簇内节点都是采用 TDMA 机制,能耗一样,不同之处在于簇首节点,式(10)和式(13)相减,得到 $TE_{cpu}(m^2nk - mnk)$,可以看出不同之处是簇首节点的 E_{cpu} 这一块,但是无线传感器网络消耗能量最多的是无线收发 E_{dec} ,而它们两者的 E_{dec} 是一样的,所以纯 TDMA 机制和混合机制能耗差别不会太大,但是混合机制的时延小得多,纯 TDMA 机制要求严格的全网同步,这个比较难以实现;用同样的方法分析式(11)和式(13),不同之处是 E_{elec} 和 E_{cpu} 分别为 $E_{elec}nm^2kT + E_{cpu}mnkT$ 和 $E_{dec}mn^2k * T + E_{cpu}mn^2kT$,与 m 和 n 的取值有关;同理,比较式(12)和式(13),相减得出,它们的不同也只有 E_{cpu} 这一块,所以能耗差别不会太大,但是 HCT-MAC 协议只需要簇内节点同步即可,而文献[8]的协议需要全网同步。

因此,基于以上分析,相比其它3种 MAC 协议,HCT-

MAC 协议不需要严格的时间同步,只需簇内同步即可,能耗方面也跟其他协议差不多或者更节省。设计了基于 TDMA 与 CDMA 混合机制的 HCT-MAC 协议信道分配方案,这个方案分两个阶段,初始化阶段和网络通信阶段。未初始化之前,整个网络是一个平面结构,所有的节点都是平等的,任何一个节点都可以使用无线信道竞争成为簇首;经过初始化阶段后,无线传感器网络由平面结构转化为分层结构,接着进入网络通信阶段。

4.1 初始化阶段

在初始化阶段中,当节点被部署到监测区域后,所有的节点都休眠,节点在一个随机时间内醒来,然后侦听无线信道,初始阶段的算法如算法1所示。

算法1 “初始阶段算法”

- (1) 初始化,生成一个随机时间 t ;
- (2) 节点在 t 时间内,是否收到簇首信息帧(M-frame),未收到,则向通信范围节点广播 M-frame,宣布自己成为簇首;收到则转向(3);
- (3) 根据收到的所有 M-frame 和信道信号强度,向信道最强的节点发送入簇申请;
- (4) 是否收到簇首节点的确认帧 ACK,未收到,则退避一段随机时间 T ,转向(3);
- (5) 结束初始化阶段。

初始化阶段的 CSMA 时序图如图1所示, t_0 是开始时间, $t_0 - t_1$ 是随机时间, $t_1 - t_2$ 是簇首产生阶段, $t_2 - t_3$ 是入簇阶段, $t_3 - t_4$ 是确认阶段。

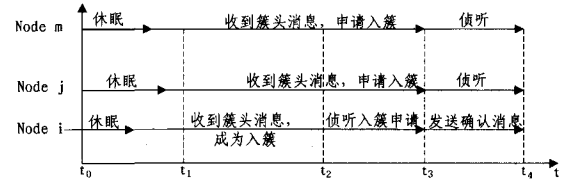


图1 网络初始化阶段 CSMA 时序图

4.2 通信阶段

初始化阶段后,监测区域内的传感器节点已经形成了簇结构,开始进入通信状态。簇的通信分为簇内通信和簇首通信两个部分,簇内通信按 TDMA 机制使用信道,簇首之间采用 CDMA 机制使用信道。

4.2.1 簇内通信方案设计

在同一簇内,簇内节点与簇首节点的通信时间被划分为交替循环的随机访问和调度访问两个阶段,如图1所示,簇首节点在随机访问阶段建立调度访问列表,为簇内节点指明调度访问阶段的工作时段,节点在指定的时段醒来传输数据,其它时间进入休眠状态。

(1) 随机访问阶段的通信

在随机访问阶段,簇内节点采用 CSMA/CA 机制与簇首节点建立通信连接,实现无线信道的共享。簇内节点 i 在发送数据包之前,先发送请求帧 RTS,簇首节点收到 RTS 后发生 CTS 进行应答,簇内节点 i 根据自己采集的信息量,向簇首节点发送携带自身节点编号 ID、信息流量 bit 的预约数据包 packetI,如表1所列。簇首节点收到 packetI 后,向簇内节点发送 ACK 应答包。簇内其它节点侦听到信道忙,退避一段时间,等到本次数据包发送完毕后再竞争信道。

表 1 packetI 结构

节点 ID	信息流量 bit 数 l_i
-------	------------------

(2) 调度访问列表的建立

利用 CSMA/CA 机制,簇首收到全部簇内节点发送的数据包后,通过分析各簇内节点的信息流量数的大小,建立信息调度访问列表,该调度访问列表决定了簇内各节点在调度访问阶段的工作时隙。簇首节点分析完毕后,将数据包 packetII 发送给簇内各个节点,packetII 包的结构如表 2 所列。

表 2 packetII 结构

时隙段总长 L	节点 ID 和时隙段
-----------	------------

图 2 是簇内节点通信的时序图, $t_0 - t_2$ 是随机访问阶段, $t_2 - t_3$ 是随机访问列表的建立阶段, $t_3 - t_4$ 是簇内节点使用 TDMA 机制上传采集数据到簇首的阶段。

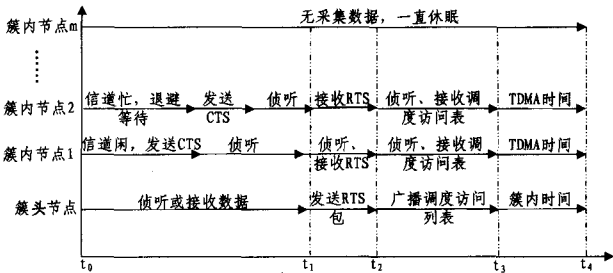


图 2 簇内节点通信的时序图

4.2.2 簇首节点通信方案设计

簇首通信部分:由汇聚节点向各个簇首分配 CDMA 机制的伪随机编码(PN)码,假设有 m 个簇首,则分配的是 m 位的两两正交的伪随机码^[10],分配算法如算法 2 所示。

算法 2 “CDMA 码分配算法”

- (1) 汇聚节点向各簇首广播码分表 PN-List(包括节点 ID 号和 PN 码);
- (2) 各簇首判断是否收到 PN-List,未收到则采用退避机制向簇首发送信息要求重传 PN-List,转入(1);收到则转(3);
- (3) 向汇聚节点发送确认信息;PN 码分配结束。

4.3 同步机制

HCT-MAC 协议不同于纯 TDMA 协议,要求所有节点完全精确同步,只需在簇内实现各节点的同步即可保证节点传输数据有序进行。结合随机访问阶段的 CTS,RTS 帧,给这两个帧打上时间戳代替专门的同步信息包,以节省能量。簇内节点 i 在本地时间 T_1 时刻发送 RTS 时标记时间戳 T_1 ,簇首收到 RTS 后,记录到达时间 T_2 ,则 T_2 等于 T_1 加上节点 i 和簇首节点的时钟偏差 d ,即: $T_2 = T_1 + D + d$ 。簇首节点发送 CTS 时,将时间 T_1 和 T_2 一并发送过去,还包括簇首节点发送 CTS 的时刻 T_3 ,簇内节点在 T_4 收到 CTS,则有: $T_4 = T_3 + D - d$ 。所以 $d = \frac{(T_2 - T_1) - (T_4 - T_3)}{2}$ 计算出时钟偏差,簇内节点 i 就能校准其时钟,使之同步于簇首节点。

5 仿真测试与分析

根据第 3 节的能耗分析,考虑节能的情况,混合机制应用的网络规模与 n 和 m 的取值有关,仿真测试的三层网络模型如图 3 所示,验证分析 HCT-MAC 协议的网络规模,即 m 和 n 的取值。

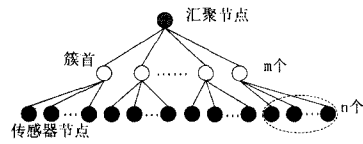


图 3 网络模型

在 MATLAB 里对 HCT-MAC 协议的能耗进行了仿真。其主要参数设置如表 3 所列。

表 3 主要仿真参数表

场景尺寸	100m * 100m	发送/接收能耗 E_{elec}	50nJ/bit
放大功耗 E_{amp}	100pJ/bit/m ²	处理器能耗 E_{cpu}	5nJ/bit
侦听能耗	13mW	空闲能耗	5mW
睡眠能耗	0mW	数据包传输速率	5kbyte/s

对第 4 节分析的 3 种机制的能耗公式进行验证,设定簇首个数 $m=10$,图 4 显示了 HCT-MAC 和 TDMA 机制的能耗曲线图,从图中可以看出,TDMA 和 HCT-MAC 的能耗相差不超过 0.5%。

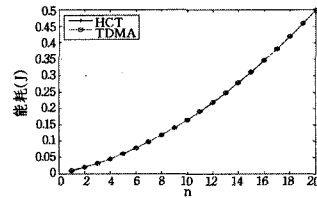


图 4 TDMA 机制和混合机制的能耗图

根据第 4 节的分析,HCT-MAC 协议与文献[8]的能耗也差不多,所以这里就不做仿真了。但是在能耗相同的情况下,HCT-MAC 协议的优势在于,它不需要全网严格的时间同步,只需簇内节点同步,而文献[8]的协议和纯 TDMA 机制,都要求全网严格的时间同步。

图 5 显示了 HCT-MAC 和 CDMA 机制的能耗比较曲线图,簇首个数 $m=10$,可以看出:

- (1) $n < m$ 时,CDMA 节省能量;
- (2) $n = m$ 时,两者能耗相等;
- (3) $n > m$ 时,HCT-MAC 节省能量。

所以,当 $n > m$ 时,用混合机制 HCT-MAC 是比较节能的。

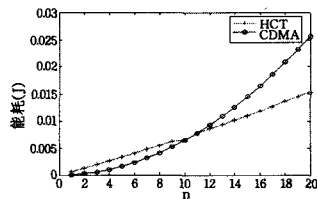


图 5 CDMA 机制和混合机制的能耗比较图

CDMA 机制和 HCT-MAC 协议的能耗的区别是数据包长和时延的取值,当簇首节点 $m > n$ 时,HCT-MAC 协议的簇数多,簇内节点同步耗能较多,所以 HCT-MAC 的能耗多于 CDMA 的;当簇首 $m < n$ 时,纯 CDMA 机制簇内的数据包变长,能耗比新协议多。

除了这 3 种机制之间比较外,将 HCT-MAC 协议与 S-MAC 协议也进行了能耗比较,并假定 S-MAC 的占空比为 10%,成功传输一次采集数据包记为一个循环,数据包大小为

(下转第 100 页)

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。

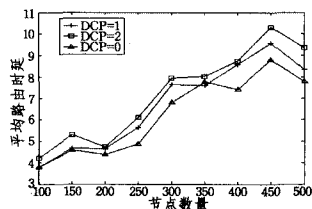


图 8 不同策略下平均路由时延随节点的变化

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。

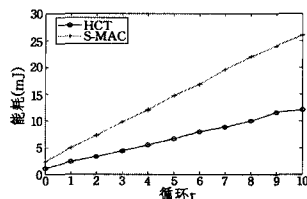


图 6 HCT-MAC 和 S-MAC 能耗比较

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