

无线传感器网络数据汇聚协议 CTP 的仿真与研究

陈 健, 杨志义, 王 敏

(西北工业大学 计算机学院, 陕西 西安 710129)

摘 要:大规模部署的无线传感器网络中,节点状态变化极易导致数据投递率降低。为了建立无线传感器网络应用仿真平台,研究提高数据投递率的方法。通过分析 TinyOS 操作系统中数据汇聚协议 CTP 的实现机制以及基于 NS 2 实现 CTP 协议的原理和方法,采用一种新思路,将 TinyOS 基于组件化编程思想实现的 CTP 协议移植到基于面向对象的 NS 2 中,实现了 CTP 的链路质量评估、信标帧传输控制和数据包转发重传等重要机制,最后进行了 NS 2 仿真实验。仿真结果表明,CTP 协议具有高可靠性。

关键词:无线传感器; TinyOS 操作系统; 数据汇聚协议 CTP; NS 2 仿真

中图分类号:TN919-34; TP393.04

文献标识码:A

文章编号:1004-373X(2011)06-0089-05

Research and Simulation of CTP Protocol for Wireless Sensor Network

CHEN Jian, YANG Zhi-yi, WANG Min

(Department of Computer Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

Abstract: In the light of low data deliver ratio caused by inconsistent nodes in large-scale multi-hop wireless sensor network, the mechanism of CTP aggregation protocol in TinyOS, as well as the realization of CTP based on NS 2 are analyzed. A new scheme is proposed that CTP protocol is transplanted from component-based TinyOS into object-oriented NS 2, which fulfills link quality estimation, beacon frame transmission control and data packet forwarding, etc. Simulation results show that CTP protocol has high reliability.

Keywords: wireless sensor; TinyOS; CTP aggregation protocol; NS 2 simulation

0 引 言

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)由大量具有信息采集、数据处理和无线通信能力的传感器节点组成,节点间通过无线多跳通信方式形成自组织网络系统,在军事、民用和工业生产等领域有广阔的应用前景^[1]。汇聚协议作为 WSN 应用核心协议,一般提供到根节点的尽力、多跳传输,负责将节点产生的数据汇聚到基站。然而,在无线网络中不准确的链路质量估计、链路动态性和路由循环等因素导致汇聚协议的不可靠性。

CTP 协议是 TinyOS 中基于树的汇聚协议,它采用三种机制有效解决了无线传感器网络中传输的不可靠性^[2]。第一,链路质量估计机制,利用数据包和信标帧的双重反馈有效地进行单跳链路质量估计,解决了链路质量估计不准确的问题;第二,CTP 利用 Trickle 算法控制信标帧传输,在拓扑比较稳定的情况下,发送的信标帧较少,减少由于无线传感器网络链路动态变化时的路由开销;第三,CTP 利用数据包作为拓扑探测帧,

能够快速发现并解决路由循环和路由失效问题。大量的实验表明,CTP 是一种可靠、健壮、有效的数据汇聚协议,并且具有良好的硬件无关性;CTP 的数据投递率达到 90%以上^[3]。

在实际应用中,无线传感器网络的大规模部署还存在一定困难^[4],节点状态变化导致多跳路由数据投递率低。所以本文深入分析了 CTP 协议的原理,将其移植到 NS 2 中,进行了性能评估,为无线传感器网络的实际应用提供理论研究基础。实验结果表明,CTP 协议能够在整个网络中形成一棵最优链路质量树,具有较高数据投递率。

1 CTP 协议

CTP 协议的基本思想是建立一棵以汇聚节点为根的收集树,网络中的节点通过这颗树将监测到的数据传给汇聚节点。每个节点维护自己和邻居节点之间的双向链路质量评估,并根据评估值选择链路质量最好的邻居节点作为父节点,将数据发送给父节点。

CTP 协议在功能模块上分为 3 部分:链路估计器、路由引擎和转发引擎^[5]。链路估计器负责建立和维护当前节点和邻居节点间的链路质量信息,维护一张邻居

收稿日期:2010-10-18

基金项目:国家“863”计划资助项目(2009AA11Z203)

表,为建立路由提供依据,主要通过链路估计交换协议(Link Estimation Exchange Protocol, LEEP)实现;路由引擎负责发起建立路由,选择到根节点链路质量最好的路由,维护路由表并及时进行路由更新;转发引擎实现数据转发,维护本地包和转发包的发送队列,选择适当的时机将队头的数据包发送给父节点。

1.1 链路估计器和链路质量评估算法

链路估计器结合了广播 LEEP 帧(信标帧)的收发成功率和数据包传输成功率来计算邻居节点间的双向链路质量,用特别期望传输值(EETX, Extra Expected Transmissions)表示。

1.1.1 基于 LEEP 帧的链路质量评估

LEEP 协议用于在节点间交换链路质量估计信息。协议的基本思想是节点统计一定时间内从某个邻居节点接收到的广播分组占该邻居发往该节点的分组数量的比重,由此计算本节点的入站链路质量和出站链路质量,并利用这两个值计算两节点间的双向链路质量。

节点在收到邻居节点广播的 LEEP 帧后,就会更新从该邻居接收分组的计数。有节点对(A, B),经过一段时间的统计后, A 得到了来自 B 的接收分组数目 $Rcvcnt_A$, 并通过 LEEP 帧序号之差的计算得到 B 向 A 发送分组的总数目 $Sendcnt_B$ 。由此 A 就 B 而言的入站链路质量 $InQuality_{A/B}$ 为二者之商,公式表示如下:

$$InQuality_{A/B} = Rcvcnt_A / Sendcnt_B \quad (1)$$

同理,节点 B 也可以计算出接收到节点 A 的发送分组成功率,并通过周期性广播 LEEP 帧的形式通知自己与所有邻居的入站链路质量 $InQuality_{B/X}$ 。由此可见, A 的出站链路质量即为 B 的入站链路质量。公式表示如下:

$$OutQuality_{A/B} = InQuality_{B/A} \quad (2)$$

链路估计器根据入站链路质量和出站链路质量计算 A, B 间的双向链路质量,公式表示如下:

$$EETX = InQuality_{A/B} \times OutQuality_{A/B} \quad (3)$$

1.1.2 基于数据包的链路质量评估

链路估计器同时利用数据包传输成功率更新 EETX 值,当 A、B 之间的总传输包数达到一个固定窗口大小时,利用总传输数据包数目 $data_total$ 和成功接收数据包数目 $data_success$,更新 EETX 值,公式表示如下:

$$EETX = \left(\frac{data_total}{data_success} - 1 \right) \times 10 \quad (4)$$

为了减少链路评估的抖动,链路估计器采用指数加权移动平均方法将以上两种估计方式结合在一起,计算最终的链路估计值。原先的链路质量 $EETX_{old}$ 占有比例为 α ,新计算的链路质量 $EETX_{new}$ 占有比例为 $1-\alpha$ 。更新后的链路质量为二者的加权平均值,即:

$$EETX = EETX_{old} \times \alpha + EETX_{new} \times (1 - \alpha) \quad (5)$$

在 TinyOS 的实现中, α 取值 90%,新的链路质量估计值将代替原来的链路估计值,并作为节点选择父节点的依据。

1.2 路由引擎

CTP 使用期望传输值 ETX 作为路由梯度。根节点的 ETX 值为 0,其他节点的 ETX 为其父节点的 ETX 值加上到父节点链路的 EETX 值。节点周期性地广播路由状态信息,更新邻居节点到汇聚节点的路径 ETX 值。当路由表更新完成后,路由引擎根据路由表中节点的路径 ETX 值,选择传输代价最小的节点作为父节点,即数据传输的下一跳节点。ETX 作为路由梯度,保证了数据包沿 ETX 值递减的路径传输到汇聚节点,方便了协议对路由循环的检测。

由于链路质量的动态变化,父节点可能失效,当满足以下条件时节点从邻居中选取新的最佳节点,进行父节点更新:

邻居节点中存在没有发生拥塞并且 ETX 值满足一定条件的节点;

当前的父节点拥塞或者该邻居节点的 ETX 值小于父节点的 ETX,并且二者之差小于一个阈值(PARENT_SWITCH_THRESHOLD, 值为 15)。节点在选择新的父节点后,需等到下一次路由状态消息广播时才能得到更新的父节点信息并相应地更新自己的路由状态。

1.3 转发引擎

转发引擎维护一个混杂了本地产生包和转发包的发送队列,决定何时向下一跳节点传递数据包,必要时进行重传,同时进行路由循环检测和单跳重复传输检测。

2 基于 NS 2 的 CTP 协议实现

本节根据 NS 2(Network Simulator, version 2)拓展仿真原理,研究添加路由协议的方法,移植实现了 TinyOS 中的 CTP 协议,为实现无线传感器网络大规模部署和理论研究奠定基础。

2.1 NS 2 的仿真原理和拓展方法

NS 2 使用分裂对象模型的开发机制,采用 C++ 和 OTCL(Object Tool Command Language)两种开发语言, TclCL 实现二者之间的连接和映射^[6]。C++ 也被称为编译类,其执行速度快但修改和编译速度慢,用于算法和协议的具体实现。OTcl 对象也被称为解释对象,是用户接口对象,用户编写模拟脚本主要就是建立 OTcl 对象、设置其属性,然后通过事件调度器调度网络模拟事件的发生。仿真器内核定义了有层次的编译类

结构,在 OTcl 解释器中有相似的解释类结构。用户通过解释器创立新的仿真对象之后,解释器对它进行初始化,与编译类结构中相应的对象建立映射,实现网络模拟。

对 NS 2 的拓展,要求基于 C++ 和 OTcl 编程,添加所需的网络元素,重新编译 NS 2,然后进行仿真。NS 2 的仿真拓展分为组件拓展阶段,仿真阶段,仿真结果分析阶段。

2.2 CTP 协议移植

将 TinyOS 基于组件化编程思想实现的 CTP 协议移植到基于面向对象的 NS 2 中,需要添加 7 个文件(ctp.h,ctp.cc,ctp_pkt.h,ctp_rtable.h,ctp_rtable.cc,ctp_squeue.h,ctp_squeue.cc)实现^[7]。ctp.h 中定义所有必要的定时器和路由代理,用来实现协议功能;ctp.cc 中实现所有定时器,路由代理和 Tcl 链接;ctp_pkt.h 声明 CTP 协议需要在节点间相互交换的分组格式;ctp_rtable.h 声明路由表;ctp_rtable.cc 实现路由表;ctp_squeue.h 声明 CTP 的发送队列;ctp_squeue.cc 实现发送队列。

实现新的协议需要从 Agent 类继承一个新的 Agent(即 CTP 类),Agent 可以构建和销毁网络层的分组,是网络层分组的起点和终点,而且它提供了和 Tcl 接口的链接,这样就可以通过 Tcl 脚本来控制新的 CTP 协议,CTP 类是实现协议所有编码的一个主要的类。路由表作为一个新类:ctp_rtable,实现路由表的插入、删除、查询操作。ctp_squeue 类实现队列基本操作,维护一个混杂了本地包和转发包的发送队列。CTP 协议中定期发送路由包的实现是用类 TimerHandler,其中 BroadcastrouteTimer 继承自 TimerHandler,利用类 Trickle 算法控制信标帧的广播周期;UpdaterouteTimer 实现定期更新路由表,选择最佳路由的功能;RetrasmitTimer 同样继承自 TimerHandler,它实现重传时钟控制,根据单跳路由之间数据包传输情况,设置重传周期,保证单跳路由之间数据包传输的可靠性。另外一个很重要的类是 Trace,它是得到模拟信息记录文件的基础。图 1 为 CTP 及其相关类的关系图。

此外,要对 NS 2 中一些文件进行修改,实现代码在 NS 2 中的集成。包括声明分组类型的声明文件 common/packet.h,otcl 库文件 tcl/lib/ns-packet.tcl 和 tcl/lib/ns-default.tcl,优先队列 queue/priqueue.cc,以及编译文件 makefile 等。

2.3 CTP 协议实现

2.3.1 重要数据结构

路由消息包在 ctp_pkt.h 中定义了 CTP 协议需要在节点间相互交换的分组格式,其中路由消息包格式如

图 2 所示。

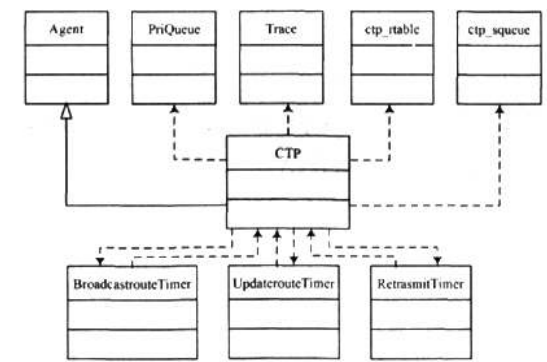


图 1 CTP 及其相关类的关系图

P 为路由请求位,节点通过设置 P 位请求路由信息。如果具有有效路由的节点侦听到一个 P 为置位的消息包,则迅速发送一个路由消息包进行响应,以便请求路由的节点尽快获得路由信息。C 用于拥塞通知,如果一个节点丢掉了 CTP 数据包,它必须对下一个数据包的 C 位置位,通知自身拥塞,以便 CTP 进行拥塞控制。节点不会选择一个发生拥塞的节点作为自己的父节点,当节点发现自己的父节点发生拥塞时,就会发起路由更新,重新选择父节点。parent 字段记录了节点当前的父节点标识。ETX 即节点的路由梯度信息,接收到路由消息包的节点可根据该字段更新路由表,选择父节点。

数据包如图 3 所示为 CTP 协议的数据包头格式。THL 为数据包存活时间,用于标识从发送节点到汇聚节点所经过的跳数;ETX 在节点传送数据包时填入,当节点收到 ETX 值比自身 ETX 值小的数据包,说明网络中存在回路,该节点立即广播路由包,通知邻居节点进行路由更新。在 NS 2 实现中没有使用 CTP 数据包,而是利用 CBR 数据流模拟传感器数据,为了实现利用数据包进行路由循环检测,在 common 分组头中添加了 16 位的 ETX 变量^[8]。

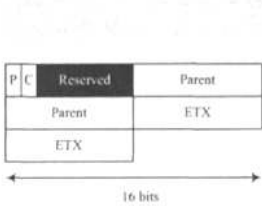


图 2 路由包格式

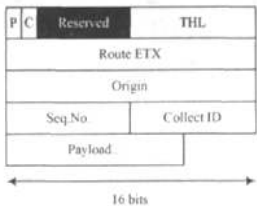


图 3 数据包头格式

路由信息项 routeInfo 路由信息项 routeInfo 中包含了父节点地址,该节点的 ETX 值,父节点是否拥塞等信息。数据包转发要依据 routeInfo 信息,因此,路由表更新最重要的就是要对 routeInfo 进行更新。

2.3.2 协议流程

链路质量估计模块 该模块采用 LEEP 协议,维护一张邻居表 *nei_table*,根据接收 LEEP 帧信息,调用 *updateNeighborEntry()* 函数更新邻居表项。当 LEEP 帧接收窗口满或数据包发送窗口满,则更新与该邻居的双向链路质量 *updateEETX()*。

路由引擎模块 路由引擎利用链路质量估计模块的链路估计信息更新 *routeInfo*,同时为数据转发模块提供父节点信息,是 CTP 协议的核心。节点启动后,首先在构造函数 *CTP(u_int16_t id)* 中设置协议的初始状态参数;汇聚节点设置父节点为自身,ETX 值为 0;启动路由更新定时器和信标帧广播定时器,路由更新定时器周期为固定值(8 s),每隔 8 s 将执行 1 次 *updatetable()*,信标帧广播周期依据网络的状态动态地更新,设置初始最小周期为 64 ms。协议将路由封装在信标帧中,通过周期性调用 *send_route_pkt()* 函数实现广播。邻居接收到路由分组后,根据情况更新路由表。图 4 为路由包发送和接收端的处理流程。

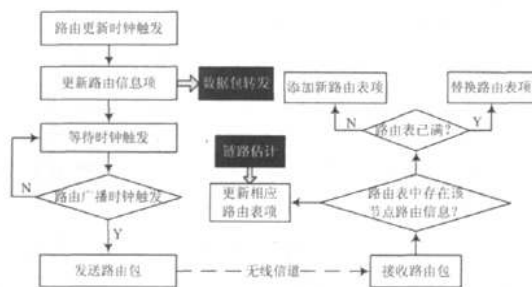


图4 路由包发送接收过程

协议在 *updatetable()* 中完成父节点的选取、更新路由信息项 *routeInfo*。*Updatetable()* 函数利用链路估计模块更新 *routeInfo*,在 NS 2 实现中,利用了邻居表 *nei_table* 存储链路质量估计值 *EETX*,完成对路由表中每个表项的更新及 *routeInfo* 的更新。*send_route_pkt()* 函数将 *routeInfo* 信息封装后广播到邻居节点。

数据转发模块 转发模块维护本地包和转发包的缓存队列 *send_queue*;依据传输的不同情况调用 *reset_retransmit_timer()* 设置重传定时器,进行必要的数据包重传;在存在有效路由的情况下调用 *forward(u_int16_t parent, Packet * p)* 函数转发数据包到父节点。

3 仿真实验分析

3.1 仿真环境和参数设置

仿真采用 NS 2.31 仿真器,设置仿真参数如表 1 所示。

10 个节点(编号 0~9)随机分布于 800 m×800 m

的矩形区域中,0 号节点为汇聚节点,1~9 号节点定期向 0 号节点发送数据包;由于实际应用中数据采集周期较长且 CTP 最多可以发送 20 B 的用户数据,所以设置 CBR 的分组发送率为 4 Kb/s;使用 802.15.4 作为底层协议;仿真时间 120 s,每 10 s 统计 1 次仿真结果。

表 1 仿真参数

节点个数	仿真范围 /m ²	MAC 层 协议	节点传输 范围 /m	数据发送 速率 /(Kb/s)	仿真 时间 /s
10	800×800	802.15.4	250	4	120

3.2 性能分析

数据包投递率是路由协议性能测试的重要指标。投递率是指根节点收到的非重复数据包与节点发送的本地数据包数目之比。由仿真结果分析得到 CTP 数据包投递率如图 5 所示。

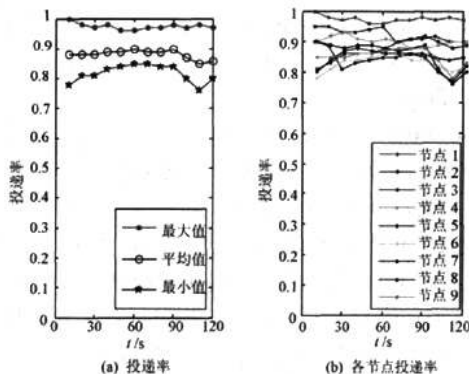


图5 CTP数据投递率

图 5(a) 反映了 9 个节点中数据包投递率最大值、平均值、最小值随时间变化情况。由图可见,CTP 数据包投递率平均为 89% 左右;数据包投递率比较稳定,并没有随着节点间链路质量的变化有大的浮动;投递率最大值出现在刚开始传输时,拓扑结构稳定后,投递率可以达到 100%;随着时间的变化,由于链路质量的变化、节点更换父节点等原因,投递率有一定的下降。图 5(b) 反映了 9 个节点的数据包投递率随时间变化情况。

由图可见,就单个节点而言,CTP 的投递率也很高,节点 1 的投递率始终在 97% 以上,这是因为节点 1 和汇聚节点之间单跳可达,不存在由于转发丢包的情况;节点 7 在第 110 s 时的投递率最低,只有 76%,主要原因是该节点在该时刻更换了父节点,造成暂时的数据包丢失,但在 120 s 时,该节点投递率又开始上升,达到 80%;节点 6 在网络中承担了大量的数据包转发,该节点的平均投递率最低,但也保持在 85%。

4 结 语

CTP协议是TinyOS中针对传感器网络特点设计和实现的。它建立了一棵以汇聚节点为根节点的链路质量最优树,实现了数据由普通节点向汇聚节点高效转发的任务。本文对CTP原理进行了分析,在NS2中实现了CTP协议,仿真结果证明CTP协议具有平均89%左右的数据包投递率。实际应用中,无线传感器网络的部署环境往往是比较复杂的,所以改变仿真参数,设计复杂的网络仿真环境,并结合工程应用的背景进行仿真,是进一步需要完成的任务。CTP协议的仿真实验将给予工程应用有效的理论指导。

参 考 文 献

- [1] AKYILDIZ F, SU W, SANKARASUBRAMANIAM Y, et al. Wireless sensor networks: a survey [J]. Computer Networks, 2002, 38(4):393-422.
- [2] GNAWALI Omprakash, FONSECA Rodrigo, JAMIESON Kyle, et al. CTP: robust and efficient collection through control and data plane integration [R]. Stanford Information Networks Group, Tech Rep;SING-08-02, 2008.

作者简介:陈健男,1985年出生,湖南湘潭人,硕士研究生。主要研究方向为无线传感网。

杨志义男,1952年出生,陕西西安人,教授。主要研究方向为嵌入式技术应用、无线传感网技术等。

王敏女,1984年出生,河南安阳人,硕士研究生。主要研究方向为无线传感网。

(上接第85页)

故在对实时性要求较高的组合导航系统或其他相应非线性系统中,可考虑应用UKF滤波算法。为提高其滤波精度,可考虑利用小波分析对信号进行去噪处理,这将会使UKF的滤波效果更好。

参 考 文 献

- [1] 孙希延,纪元法,施浒立. 卡尔曼滤波实现车载GPS/DR组合导航[J]. 现代电子技术,2006,29(11):150-152.
- [2] 齐晓慧,黄健群,董海瑞,等. 现代控制理论及应用[M]. 北京:国防工业出版社,2007.
- [3] OUCET A, GODSILL S J, ANDRIEU C. On sequential Monte Carlo sampling methods for Bayesian filtering [J]. Statistics and Computing, 2000, 10 (3): 197-208.
- [4] 滕云龙,陈小平,唐应辉. 提高GPS定位精度的改进卡尔曼

- [3] GNAWALI Omprakash, FONSECA Rodrigo, JAMIESON Kyle, et al. Collection tree protocol [R]. Stanford Information Networks Group, Tech Rep;SING-09-01, 2009.
- [4] HE Yuan, MO Lufeng, WANG Jiliang, et al. Why are long-term large-scale sensor networks difficult? lessons learned from GreenOrbs [C]. Beijing: MobiCom, 2009.
- [5] FONSECA Rodrigo, GNAWALI Omprakash, JAMIESON Kyle, et al. The collection tree protocol [EB/OL]. [2007-07-30]. <http://www.tinyos.net/tinyos-2.x/doc/>
- [6] 方路平,刘世华,陈盼,等. NS-2网络模拟基础与应用[M]. 北京:国防工业出版社,2008.
- [7] ROS Francisco J, RUIZ Pedro M. Implementing a new manet unicast routing protocol in NS 2 [EB/OL]. [2004-05-13]. <http://masimum.inf.um.es/nsrt-howto/pdf/nsrt-howto.pdf>
- [8] FALL Kevin, VARADHAN Kannan. The ns manual [EB/OL]. [2009-06-19]. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html>.
- [9] 周立鹏,傅江涛,郑国强. 无线多媒体传感器网络MAC协议研究[J]. 现代电子技术,2010,33(3):65-67,70.
- [10] 黄育侦,徐友云,程云鹏. 无线传感器网络中分布式空时分组码设计[J]. 现代电子技术,2010,33(9):55-57,62.
- [11] 孔源,杨艳,王亚菲. 多总线控制的无线传感器网络[J]. 电子设计工程,2010(5):81-83.

滤波算法研究[J]. 现代电子技术,2008,31(3):4-6.

- [5] 张长春,黄英,杨刚. 卡尔曼滤波在跟踪运动目标中的应用及仿真[J]. 现代电子技术,2009,32(20):54-56.
- [6] 万莉,刘焰春,皮亦鸣. EKF、UKF、PF目标跟踪性能的比较[J]. 雷达科学与技术,2007(1):13-15.
- [7] 常琳英. 基于粒子滤波的误差估计[D]. 西安:西安电子科技大学,2009.
- [8] FREITAS J F G. Bayesian methods for neural networks [D]. London: Department of Engineering, Cambridge University, 1999.
- [9] 张森. 基于自适应粒子滤波的机动目标跟踪方法研究[D]. 石家庄:军械工程学院,2008.
- [10] MERWE R V D, DOUCET A, FREITAS N D, et al. The unscented particle filter [D]. London: Cambridge University, 2000.
- [11] 相威,汪立新,林孝焰. 几种改进的粒子滤波算法性能比较[J]. 计算机仿真,2009(4):121-122.

作者简介:王庆欣男,1986年出生,山东临沂人,硕士研究生。研究方向为检测技术与自动化装置。

史连艳女,1972年出生,吉林辉南人,博士研究生,讲师。研究方向为火箭弹制导系统设计。

作者: [陈健](#), [杨志义](#), [王敏](#), [CHEN Jian](#), [YANG Zhi-yi](#), [WANG Min](#)
作者单位: [西北工业大学计算机学院, 陕西, 西安, 710129](#)
刊名: [现代电子技术](#) 
英文刊名: [MODERN ELECTRONICS TECHNIQUE](#)
年, 卷(期): 2011, 34(6)

参考文献(11条)

1. [孔源;杨艳;王亚菲](#) 多总线控制的无线传感器网络[期刊论文]-[电子设计工程](#) 2010(05)
2. [黄育侦;徐友云;程云鹏](#) 无线传感器网络中分布式空时分组码设计[期刊论文]-[现代电子技术](#) 2010(09)
3. [周立鹏;傅江涛;郑国强](#) 无线多媒体传感器网络MAC协议研究[期刊论文]-[现代电子技术](#) 2010(03)
4. [AKYILDIZ F;SU W;SANKARASUBRAMANIAM Y](#) Wireless sensor networks:a survey[外文期刊] 2002(04)
5. [FALL Kevin;VARADHAN Kannan](#) The as manual 2009
6. [ROS Francisco J;RUIZ Pedro M](#) Implementing a new manet unicast routing protocol in NS 2 2004
7. [方路平;刘世华;陈盼](#) NS-2网络模拟基础与应用 2008
8. [FONSECA Rodrigo;GNAWALI Omprakash;JAMIESON Kyle](#) The collection tree protocol 2007
9. [HE Yuan;MO Lufeng;WANG Jiliang](#) Why are long-term large-scale sensor networks difficult?lessons learned from GreenOrbs 2009
10. [GNAWALI Omprakash;FONSECA Rodrigo;JAMIESON Kyle](#) Collection tree protocol[Tech Rep:SING-09-01] 2009
11. [GNAWALI Omprakash;FONSECA Rodrigo;JAMIESON Kyle](#) CTP:robust and efficient collection through control and data plane integration[Tech Rep:SING-08-02] 2008

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_xddzjs201106026.aspx