

面向月球探测多机器人通信系统的 Ad hoc 路由协议优化设计

路艳玲, 秦世引

北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院, 北京 100191

摘要 Ad hoc 网络作为一种不依赖于任何固定设施的临时性多跳自治系统, 是解决月球探测过程中多机器人通信问题的可行选择。由于月球探测多机器人通信系统对节能和实时性等方面的特殊要求, 现有的 Ad hoc 网络路由协议还难以满足工程设计和实际应用的需求。因而, 结合月球探测环境下的实际工程需要, 对现有的 Ad hoc 网络路由协议进行优化设计就成为关键。在分析月球探测多机器人通信系统拓扑结构的基础上, 给出了系统中各节点的能量消耗模型; 进而, 建立了路径寻优的数学模型, 在动态源路由协议 DSR 的基础上设计了一种基于能量约束的 Ad hoc 网络路由协议。该协议综合考虑了通信系统对于节能和实时性两方面的需求, 将路由跳数、路由传送功率、节点剩余电池能量作为路由度量, 采用改进的离散 Bellman-Ford 算法进行最优路径的求解。仿真实验结果表明, 该协议在保证通信系统实时性的前提下, 可延长网络生存时间, 能为月球探测多机器人系统提供更可靠的通信保障。

关键词 Ad hoc 网络; 月球探测多机器人系统; 能量消耗模型; 路由协议

中图分类号 TP393.04

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)19-0042-05

Optimization Design of Ad hoc Routing Protocol for the Communication of Lunar Exploration Multi-robots System

LU Yanling, QIN Shiyin

*School of Automation Science and Electrical Engineering,
Beihang University, Beijing 100191, China*

Abstract Mobile ad hoc networks are a kind of self-organizing and self-reconfiguring networks. They can be established anytime and anywhere without the presence of stationary radio stations or fixed infrastructures. Thus they are regarded as an effective support tool for the communication of a lunar exploration multi-robots system. Generally speaking, there are two issues, the efficient energy conservation and the real-time communication, that are important for the lunar exploration multi-robots system. However, these two issues do not have a satisfactory answer with concurrently

existing Ad hoc routing algorithms. Hence, an optimization design of the routing protocol is the key for the Ad hoc networks with the objective of the energy conservation and the constraint of the real-time communication. For that purpose, a node's energy consumption model is built based on the analysis of the network topology of the communication system. Then, a mathematical model is proposed to carry out the optimization for the optimal path. Moreover, a new power-aware routing scheme is presented based on the Dynamic Source Routing (DSR) according to the engineering requirements of the lunar exploration multi-robots communication system. With constraints of hops, total transmission power, and node's remaining energy, the modified distributed Bellman-Ford algorithm is employed to find the optimal path. Simulation results show that the routing protocol designed in this paper performs better for the lunar exploration multi-robots system than others.

Keywords mobile Ad hoc networks; lunar exploration multi-robots system; energy consumption model; routing protocol

0 引言

随着计算机通信技术、人工智能以及传感器技术的发展,

收稿日期: 2009-08-10

基金项目: 中国高技术研究发展计划(863 计划)项目(2006AA04Z207); 国家自然科学基金项目(60875072); 国际科技合作项目(2007DFA11530); 教育部高等学校博士学科点专项科研基金项目(20060006018)

作者简介: 路艳玲, 研究方向为 Ad Hoc 网络路由协议优化设计, 电子信箱: yulu102@asee.buaa.edu.cn; 秦世引(通信作者), 教授, 研究方向为图像处理与模式识别、大规模复杂系统、多机器人混杂系统, 电子信箱: qsy@buaa.edu.cn

机器人学研究进入了一个崭新的阶段。从工业制造、基因工程到军事侦察、核工业、航空航天等诸多领域,机器人都扮演着不可取代的重要角色,极大地促进了现代科学技术的发展。月球探测作为深空探测领域的研究热点,备受世界各国的广泛关注。从20世纪60年代起,各种应用目标的月球探测多机器人系统的研究和开发就受到了各国的重视^[1]。

对于月球探测多机器人系统而言,由于其特殊的现场环境,执行任务时,多机器人之间的通信并没有基站等固定基础设施的支持。因此,迫切需要一种不依赖基础设施、能够快速灵活配置的移动通信网络技术。Ad hoc 网络通信模块便是为满足这种特殊应用需求而设计的。Ad hoc 网络是一种由带有无线收发装置的移动终端组成的一个无中心自组织的临时性多跳自治系统。由于采用无线通信技术,不依赖于任何固定设施,就能随时随地组建临时性网络^[2]。网络中的移动终端具有路由功能,即网络中的节点互相作为其邻居节点(在其直接通信范围内的节点)的路由器,通过节点转发实现节点间的通信,如图1所示。

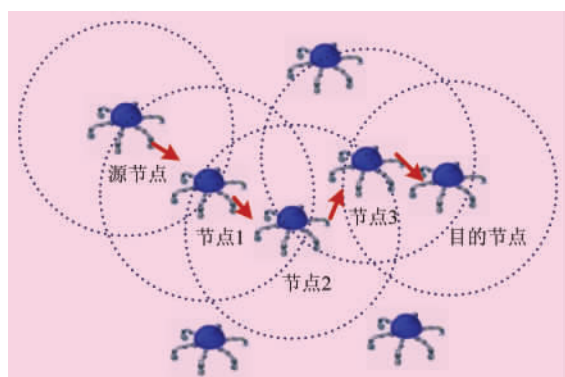


图1 Ad hoc 网络环境下的多机器人移动通信系统

Fig. 1 Multi-robots communication system with Ad hoc networks

由于月球探测多机器人系统具有动态组网、移动通信、数据传输量比较大以及能量有限等特点,现有的 Ad hoc 网络路由协议并不能很好地适用于月球探测多机器人通信系统。因而,我们在现有协议的基础上,结合多机器人系统的特点,提出了一种适用于月球探测多机器人系统 Ad hoc 网络通信的路由协议 DLER (Dynamic Lunar Exploration Robots Routing Protocol)。仿真实验表明,该协议在保证通信系统实时性的前提下,增强了整个通信系统的稳定性,同时,由于节能策略的引入,也在更大程度上延长了整个网络的生存时间,为月球探测多机器人系统提供了更可靠的通信保障。

1 月球探测多机器人通信系统特点及拓扑结构分析

1.1 月球探测多机器人通信系统特点分析

在月球探测这种特定的应用背景下,多机器人系统需要完成环境数据、土壤成分的采集与分析等任务,这也就要求

相应的通信系统要所有数据指令的传输提供可靠的保证。概括来讲,整个通信系统有以下特点:

- 1) 通信过程中没有基站等固定基础设施的支持;
- 2) 本身包含的机器人数量有限;
- 3) 机器人间通信的数据包通常是大小适中的指令数据包,传输频率比较高;
- 4) 对大部分指令而言,如急停指令、转向指令等,对实时性的要求比较高;
- 5) 电池能量有限,但通信任务耗时比较长,需要较长的网络生存时间。

为了满足月球探测多机器人通信系统的上述特殊应用需求,从网络选型到路由协议设计都应根据约束条件和具体的指标函数进行优化决策,才能收到良好的效果。本文选用 Ad hoc 网络作为月球探测多机器人通信系统的支持工具,进而研究在节能和保障实时通信要求前提下的路由协议的优化设计问题。

1.2 Ad hoc 网络通信的拓扑结构分析

Ad hoc 无线网络的拓扑结构可分为两种:平面结构和分级结构^[3]。在平面结构中,所有网络节点的地位平等,网络结构简单,源节点与目的节点通信时存在多条路径,不存在网络瓶颈,而且网络相对比较安全,适用于节点数量有限的 Ad hoc 网络通信系统;而在分级结构中,整个网络由以簇为单位的各个子网组成,其中每个簇由一个簇头和多个簇成员组成,簇头形成高一级网络,网络规模不受限制,可扩充性好,但也需要复杂的簇头选择算法^[4-6]。而在月球探测多机器人系统中,由于机器人数量有限,对网络的安全性、稳定性要求比较高,因此,选择平面结构较为妥当。

对于对等式平面结构的 Ad hoc 网络通信系统,可以用图 $G=(V, E)$ 表示^[7],如图2所示。图中 V 为所有节点的集合, E 为可以直接通信的节点间链路的集合。对于网络中的每一个节点 n_i ,都有唯一的 IP 地址作为其身份标识。

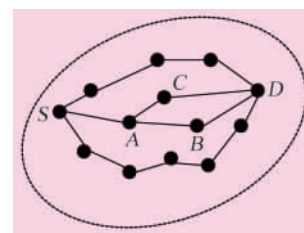


图2 Ad hoc 对等式平面机构网络拓扑

Fig. 2 Ad hoc topology of planar mechanism

在每次收发数据包的过程中,每个节点所消耗的电池能量由以下3个指标决定:节点当前的接收功率、发射功率及该数据包的大小。同时,为了满足尽可能延长网络生存时间的优化指标,引入节点的剩余电池能量这个属性值。对于图 $G=(V, E)$ 而言,每一条边便代表了数据包的一次转发过程,也

就是说,每条边均对应了一个能耗值作为其权值,从而构成了整个网络。

基于节能机制的 Ad hoc 网络路由协议设计,主要考虑在源节点 S 到目的节点 D 的所有可行路径中寻找一条总的能耗值最小的路径传输数据,从而尽可能地延长网络的生存时间。事实上,这种寻找最优路径的过程,也就等同于网络优化中的“最短路问题”。但不同的是,由于多机器人系统中节点的移动性,每条边的权值都在随时发生变化,而这种变化的随机性表明,追求能耗最小的最优通信路径的求解并不能按照常规的“最短路问题”的寻优方法来进行,而是需要在原有最短路径算法的基础上进行改进,比如文献[8]提出的改进的 Dijkstra 最短路径算法,文献[9]提出的改进的离散 Bellman-Ford 算法等。

2 月球探测多机器人通信系统的能量消耗模型分析

移动 Ad Hoc 网络中的移动终端能量消耗主要由通信相关的能量消耗与通信无关的能量消耗两部分构成。其中,通信相关的能量消耗主要体现在无线收发装置收发数据包时所消耗的能量^[10]。下面从无线网卡的能耗和无线节点的能量消耗两个角度分析整个网络的能耗模型。

2.1 无线网卡的能量消耗模型

无线网卡 NIC(Network Interface Card)的工作模式共有 4 种,分别为睡眠模式、空闲模式、接收模式和发送模式^[11-12]。令 $P_{\text{doze}}, P_{\text{idle}}, P_{\text{rcvd}}, P_{\text{tx}}$ 分别表示无线网卡在睡眠、空闲、接收和发送 4 种工作模式下所需功率, $T_{\text{doze}}, T_{\text{idle}}, T_{\text{rcvd}}, T_{\text{tx}}$ 分别表示时间 T 内无线网卡分别处于睡眠、空闲、接收和发送模式下的时间。不考虑无线网卡各模式之间转换所消耗的额外能量,那么,在时间 T 内,无线网卡所消耗的能量为

$$E_{\text{NIC}} = P_{\text{doze}} \cdot T_{\text{doze}} + P_{\text{idle}} \cdot T_{\text{idle}} + P_{\text{rcvd}} \cdot T_{\text{rcvd}} + P_{\text{tx}} \cdot T_{\text{tx}} \quad (1)$$

式中, T_{tx} 由无线网卡所发送的数据包的大小、数据发送频率及个数决定;相应地, T_{rcvd} 由无线网卡所接收到的数据包的大小、数据接收频率和个数决定。假设在时间 T 内,该无线网卡所发送的数据包的个数为 M ,第 i 个数据包的大小为 $S_{\text{tx}}(i)$,数据发送率为 D_{tx} ;接收到的数据包的个数为 N ,第 i 个数据包的大小为 $S_{\text{rcvd}}(i)$,数据接收率为 D_{rcvd} ,无线网卡消耗的能量为

$$\begin{aligned} E_{\text{NIC}} &= P_{\text{doze}} \cdot T_{\text{doze}} + P_{\text{idle}} \cdot T_{\text{idle}} + P_{\text{rcvd}} \cdot T_{\text{rcvd}} + P_{\text{tx}} \cdot T_{\text{tx}} \\ &= P_{\text{doze}} \cdot T_{\text{doze}} + P_{\text{idle}} \cdot T_{\text{idle}} + P_{\text{rcvd}} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{S_{\text{rcvd}}(i)}{D_{\text{rcvd}}} + P_{\text{tx}} \cdot \sum_{i=1}^M \frac{S_{\text{tx}}(i)}{D_{\text{tx}}} \end{aligned} \quad (2)$$

接收功率是有效的数据包到达目的机器人接收器所需的有效功率。仿真时,接收功率的计算模型^[13]为

$$P_{\text{rcvd}} = P_{\text{tx}} \cdot B_{\text{tx}} \cdot G_{\text{tx}} \cdot L_{\text{path}} \cdot G_{\text{rcvd}} \quad (3)$$

其中, B_{tx} 为无线网卡的发送带宽, $G_{\text{tx}}, G_{\text{rcvd}}$ 分别为无线网卡的发射天线增益和接收天线增益, L_{path} 为传播损耗,计算模型采用自由空间模型。

2.2 移动节点的能量消耗模型

用 $E_{\text{CR}}, E_{\text{NCR}}$ 分别表示月球探测多机器人通信系统中通信

相关的能量消耗、通信无关的能量消耗,并且假设

$$\frac{E_{\text{NCR}}}{E_{\text{CR}}} = \lambda \quad (4)$$

仿真时,通信相关的能量消耗主要为无线网卡收发数据包所消耗的能量,同时,由于无线网卡处于空闲、睡眠状态时所消耗的能量远小于无线节点整体的能量消耗,可以忽略不计,那么对于节点 n_i ,它的能量消耗模型为

$$\begin{aligned} E_{\text{node}} &= E_{\text{CR}} + E_{\text{NCR}} \\ &= E_{\text{NIC}} + \lambda E_{\text{NIC}} = (1 + \lambda) E_{\text{NIC}} \\ &= (1 + \lambda) \left[P_{\text{rcvd}} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{S_{\text{rcvd}}(i)}{D_{\text{rcvd}}} + P_{\text{tx}} \cdot \sum_{i=1}^M \frac{S_{\text{tx}}(i)}{D_{\text{tx}}} \right] \end{aligned} \quad (5)$$

3 面向月球探测多机器人通信系统的 Ad hoc 路由协议设计策略

3.1 设计指标与约束条件

对于月球探测多机器人通信系统而言,整个路由协议的设计主要考虑如何保证通信系统的实时性和节能性,希望所有指令数据能够及时传递给目的节点,并且能够在最大程度上延长整个网络的生存时间。考虑到月球探测任务对多机器人系统整体性需求,将网络的生存时间定义为第一台机器人因能量消耗殆尽而瘫痪的时间。整个通信系统寻找最优路径的问题可以用如下的数学模型表示:

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{i=1}^{d-1} E(n_i, n_{i+1}) \\ \text{st} \quad & d < c \\ & E_{\text{res}} > E_{\text{min}} \end{aligned} \quad (6)$$

式中,对于路径 $P: (n_1, n_2, \dots, n_i, \dots, n_{d-1}, n_d)$, $E(n_i, n_{i+1})$ 为数据包从节点 n_i 传递到节点 n_{i+1} 所消耗的能量, d 为路径 P 的跳数, E_{res} 为整条路径上所有节点剩余电池能量的最小值。 c 为常数, c 越小,对网络实时性的要求越高。为了尽可能延长网络的生存时间,避免个别节点的提前瘫痪,所选择的最优路径上所有节点的剩余电池能量值大于阈值 E_{min} , E_{min} 越大,对能量偏低节点的保护程度越高。

3.2 DLER 路由协议的设计策略

由于月球探测多机器人系统对于网络实时性的要求比较高,本文借鉴了 DSR(Dynamic Source Routing)协议的源路由思想,每个数据包的包头里均包含了从源节点到目的节点的路径信息^[14]。另外,考虑节能性的要求,将整条路径的总的传送功率、路径上所有节点的剩余电池能量的最小值以及跳数作为路由度量寻找最优路径。当网络中所有节点有充足剩余能量时,将跳数和总传送功率作为衡量路由优劣的度量;当节点处于低能状态时,为了避免低能量节点的过度使用,将选用路径上所有节点剩余电池能量的最小值作为路由度量。

定义变量 X 为路径 $P: (n_1, n_2, \dots, n_i, n_j, \dots, n_d)$ 的总传送功率:

$$X = \sum_{i=1}^{d-1} P(n_i, n_{i+1}) \quad (7)$$

设 Ω 为源节点到目的节点的所有可选路径的集合, $E_{\min}$ 为能量阈值。令 θ 为可行路径的集合, 这些路径上所有节点的剩余电池能量最小值大于 $E_{\min}$ 。那么, 可以得到如下节能路由策略:

$$\begin{aligned} &\text{define } X = \sum_{i=1}^{d-1} P(n_i, n_{i+1}) \\ &\text{define } \theta = \{p | p \in \Omega \text{ and } \min_{n_i \in p} E_{n_i} \geq E_{\min}\} \\ &\text{if } \theta \neq \emptyset, \text{ then } R_{\text{energy_aware}} = \arg \min_{p \in \theta} \{X + \alpha d\} \\ &\text{if } \theta = \emptyset, \text{ then } R_{\text{energy_aware}} = \arg \max_{p \in \theta} \{ \min_{n_i \in p} \{E_{n_i}\} \} \end{aligned} \quad (8)$$

其中, d 为路径 P 的跳数, E_{n_i} 为路径 P 上节点 n_i 的剩余电池能量, $\emptyset$ 为空集。能量阈值 $E_{\min}$ 越大, 对低能量节点的保护级越高; α 为调节系数, α 越高, 则更希望选择跳数少的路径传输数据。

下面采用改进的 Bellman-Ford 最短路径算法求解最优路径。对于路径 $P: (n_1, n_2, \dots, n_i, n_j, \dots, n_d)$ 上的节点 n_i , 其传送功率的计算公式为

$$C_{i,j} = \text{cost}(n_i) + P_{\text{transceiver}}(n_i) + P_{\text{transmit}}(n_i, n_j) \quad (9)$$

其中, n_j 为 n_i 的邻居节点, $P_{\text{transceiver}}(n_i)$ 为节点 n_i 接收该数据包的无线收发装置的接收功率, $P_{\text{transmit}}(n_i, n_j)$ 为节点 n_i 将该数据包发送给节点 n_j 的发射功率, $C(n_i)$ 为从源节点到节点 n_i 的总的传送功率。 $C_{i,j}$ 被写入路由请求包, 并发送给邻居节点 n_j [2]。

对路径 $P: (n_1, n_2, \dots, n_i, n_j, \dots, n_d)$ 上的节点 n_j , 令 $\text{cost}(n_j)$ 为从源节点到节点 n_j 的最小传送功率, 那么

$$\text{cost}(n_j) = \min_{n_i \in \varphi} (C_{i,j} + \alpha j) \quad (10)$$

其中, φ 为节点 n_j 的邻居节点的集合, j 为路径的跳数, α 为小于 1 的常数。以此获得从源节点到节点 n_j 的最优路径, 如此反复, 直至到达目的节点。

4 仿真实验结果分析

4.1 实验环境与平台

网络模拟是进行网络技术研究的一种基本手段。本文采用 OPNET 14.5 软件测试、评估和验证所提出的路由协议 [15-16]。通过与其他节能路由协议的性能比较, 验证所提出的改进协议是更适合用于月球探测多机器人系统 Ad hoc 通信网络的路由协议。

为了评估协议的性能, 需要考虑不同的定量度量。实验中, 考虑选取以下两种统计量分析协议在节能和实时性两方面的性能。

1) 端对端平均延时: 所有数据包从源节点出发到正确到达目的节点所用时间的均值。

2) 网络生存时间: Ad hoc 网络从开始运行到网络出现分离所经过的时间 [17]。本文选用首个节点的死亡时间作为网络的生存时间, 它反映了网络性能出现恶化的开始时间。

4.2 仿真结果分析

1) 端对端平均延时

该统计量用于表示数据包从源节点出发到正确到达目的节点所用时间的分布情况, 反映了路由有效性以及通信的实时性。由图 3 可以看出, 3 种协议的端对端时延都最终趋向于一个较小的稳定值, 因而其路由有效性和通信的实时性都是比较高的。由于在最优路径的寻找过程中加入了对路径跳数的限制, DLER 协议所选择的路径的跳数低于 MMBCR (Min-Max Battery Cost Routing) 协议, 因此, 端对端平均延时也明显小于 MMBCR 协议。另一方面, 由于加入了总传送功率的路由度量, DLER 协议所选择的路径的跳数高于 DSR 协议, 其端对端时延要高一些。

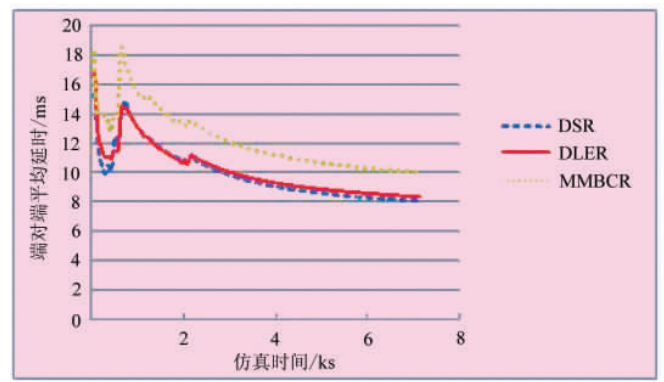


图 3 端对端平均延时

Fig. 3 Average end-to-end delay vs time

2) 网络生存时间

仿真时, 设定节点的初始电池能量为 10 J, DLER 协议中, 能量阈值 $E_{\min}$ 取 4 J。同时, 为了更充分地反应不同路由选择机制对网络生存时间的影响, 假设通信相关的能量消耗值远大于通信无关的能量消耗值 ($\lambda=0.1$)。在不同节点运动速度情况下, 统计不同路由选择机制对于网络生存时间的影响。节点的平均运动速度越快, 网络拓扑结构变化也越快, 相应地, 通信相关的能量消耗越大, 网络的生存时间也越短。

由图 4 可以看出, MMBCR 协议的网络生存时间是最长

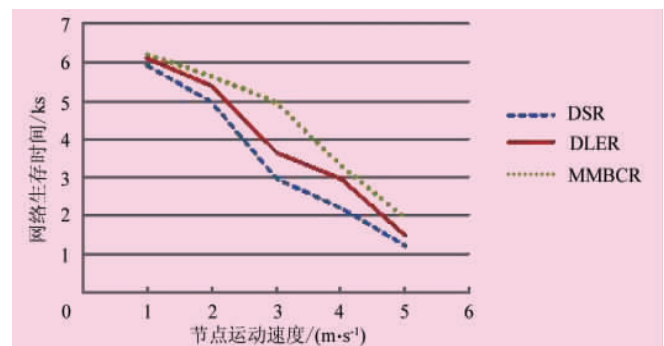


图 4 网络生存时间

Fig. 4 Network's lifetime vs velocity

的,但这是以牺牲网络实时性为代价的。而 DSR 协议为了充分保障网络实时性,总是选择跳数最小的路径传输数据,使得个别节点的能量过度消耗,因而网络生存时间最短。DLER 协议综合了两种协议的优点,在保证网络通信实时性的情况下,延长了网络的生存时间,是一种更适用于月球探测多机器人系统的路由协议。

5 结论

本文根据月球探测多机器人系统动态组网、移动通信、数据传输量比较大以及能量有限的特点,提出了一种基于能量约束的新型路由协议 DLER。该协议满足了月球探测多机器人系统对于通信实时性的要求,延长了整个通信网络的生存时间,为月球探测多机器人系统提供了更可靠的通信保障。进一步的工作主要是根据实际工程应用的性能指标要求,实现一种智能化的路由机制:按照传输数据的类型,选择不同的路由机制去寻找路径。比如,对于急停、转向等对实时性要求比较高的控制指令,协议能够自动寻找跳数少的路径进行传输;而对于采集所得的环境数据等数据包的传输,则寻找总的能耗最小的路径进行传输,从而真正地均衡月球探测多机器人系统对于节能和通信实时性两方面的指标要求。

参考文献 (References)

- [1] 朱森元. 月球探测在 21 世纪初将成为航天热点之一 [J]. 世界科技研究与发展, 2000(2): 9-10.
Zhu Senyuan. *World Sci-Tech R & D*, 2000(2): 9-10.
- [2] Toh C K, Cobb H, Scott D A. Performance evaluation of battery-life-aware routing scheme for wireless Ad hoc networks[J]. *IEEE International Conference on Communications*, 2001(9): 2824-2829.
- [3] 王成, 刘金刚. Ad Hoc 无线网络及其路由协议分析 [J]. 计算机应用与软件, 2006, 23(8): 87-89.
Wang Cheng, Liu Jingang. *Computer Applications and Software*, 2006, 23(8): 87-89.
- [4] Wei R, Wu M, Yu T. LSMR: A Label Switching Multipath Routing Protocol for Ad Hoc Networks [C]//*Proceedings of Eighth ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing*. 2007(2): 546-551.
- [5] 李铭, 卢锡城, 彭伟. 面向无线 Ad Hoc 网络的一种平面 t-支撑图[J]. 通信学报, 2005(6): 62-69.
Li Ming, Lu Xicheng, Peng Wei. *Journal on Communications*, 2005 (6): 62-69.
- [6] Wu Y-C, Tuan C-C. Triangular energy saving route protocol by energy sieving in wireless Ad hoc networks [C]//*Proceedings of MDM 2009: Tenth International Conference on Mobile Data Management: Systems, Services and Middleware*. 2009: 474-477.
- [7] 应玉梅, 刘卫. 多跳无线 Ad Hoc 网络的分布式公平调度算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(9): 98-100.
Ying Yumei, Liu Wei. *Computer Engineering*, 2009, 35(9): 98-100.
- [8] Singh S, Raghavendra C S. PAMAS-power aware multi-access protocol with signalling for ad hoc networks [C]//*Proceedings of MobiCom'98*. Dallas, 1998.
- [9] Keith Scott, Nicholas Bambos. Routing and Channel Assignment for Low Power Transmission in PCS[C]//*Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Universal Personal Communications*. 1996(2): 498-502.
- [10] Toh C K. Maximum battery life routing to support ubiquitous mobile

computing in wireless Ad hoc networks [J]. *Mobile Ad Hoc Networking*, 2001, 39(6): 138-147.

- [11] 俞京津. 基于节能机制的移动 Ad hoc 网络路由协议的研究[D]. 北京交通大学计算机与信息技术学院, 2007.
Yu Jingjin. Research on routing protoeol of Ad hoc network based on energy efficient mechanism [D]. Beijing: School of Computer and Information Technology, Beijing Jiaotong University, 2007.
- [12] 黎宁, 王小伟, 郑少仁. 无线网卡能耗建模及在 GloMoSim 中的实现 [J]. 系统仿真学报, 2003, 15(5): 696-699.
Li Ning, Wang Xiaowei, Zheng Shaoren. *Journal of System Simulation*, 2003, 15(5): 696-699.
- [13] 陈敏. OPNET 网络仿真[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
Chen Min. OPNET network simulation[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.
- [14] Johnson D B, Maltz D A. Dynamic source routing in Ad hoc wireless networks[M]. New York: Kluwer Academic Publishers, 1996: 153-181.
- [15] 徐磊, 李晓辉, 方红雨. 基于 OPNET 的 Ad hoc 网络建模与仿真[J]. 计算机工程, 2009(1): 123-125.
Xu Lei, Li Xiaohui, Fang Hongyu. *Computer Engineering*, 2009 (1): 123-125.
- [16] Wu Y-C, Tuan C-C. Energy saving cache-based routing protocol in wireless ad hoc networks [J]//*Proceedings of the IET Communications Conference on Wireless, Mobile and Sensor Networks*. 2007: 466-469.
- [17] Vassileva N, Barcelo-Arroyo F. A survey of routing protocols for energy constrained ad hoc wireless networks [C]//*Proceedings of the International Conference on Future Generation Communication and Networking*. 2007(1): 522-527.

(责任编辑 杨书卷)

·学术动态·



“第 4 次全国中毒与危重症救治学术会议”征文

中国毒理学会“第 4 次全国中毒与危重症救治学术会议”定于 2010 年 3 月在广东省深圳市召开,届时将有我国中毒与危重症救治方面的专家做专题报告介绍最新进展,并聘请相关学科专家做精彩的专题报告。

会议征文内容包括:各种(农药、药物、重金属、有害气体等)中毒救治的基础和临床研究,多脏器功能不全、心衰、肝、肾、呼吸衰竭救治,人工气道管理与呼吸机的应用;危重症的各种监测技术和经验交流,急危重病救治的新技术、新药物及新方法,中毒与危重症救治中的组织管理及体会,中毒与危重症的院前急救、现场救治及转运,中毒性疾病的检测与监控,中毒、急危重病救治护理经验介绍,血液净化在中毒及危重症中的应用,中毒及危重症患者的早期营养支持等。

稿件截止日期:2010 年 1 月 28 日。

联系方式:广东省深圳市宝安区宝城 4 区龙井二路 118 号深圳市宝安区人民医院急诊科 (518101) 张文武; 电话: 0755-27880712, 13923453969; 电子信箱: zww-5@163.com。