

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2015.04.021

移动 Ad Hoc 网络 AODV 路由协议的研究与优化

梁建武, 马晓亮, 徐龙龙

(中南大学 信息科学与工程学院, 长沙 410075)

摘要:无线移动自组网是仅由移动节点所组成的网络,具有分布式控制、自组织、多跳等特点,由于该网络具有抗毁性能高、易铺设等性质,越来越受到业界的广泛关注。原始的路由协议已经满足不了现有网络不可预测、频繁变化的拓扑结构的需要,因此在之前研究的基础上,对现有 Ad Hoc 网络 AODV 路由协议进行了研究,并设计出一种基于 AODV 协议的改进路由协议——基于认知的 AODV 协议(Cognitive-based AODV, CAODV)。通过 NS2 进行试验仿真,结果表明,CAODV 协议具有比 AODV 协议更加优良的性质,可以有效降低重启路由发现频率,增加断裂链路的修复成功率,降低协议的控制负载,对现有网络的动态变化具有很强的适应能力。

关键词:Ad Hoc 网络; AODV; 路由协议; CAODV

中图分类号:TP393

文献标志码:A

文章编号:1000-582X(2015)04-0152-07

Research and optimization of AODV routing protocols in mobile Ad Hoc network

LIANG Jianwu, MA Xiaoliang, XU Longlong

(School of Information Science and Technology, Central South University,
Changsha 410075, P.R.China)

Abstract: Wireless mobile Ad Hoc network composed by a group of mobile nodes is an emerging network with features of distributed control, self-organizing and multi-hop. Because of its excellent properties such as high survivability and easy laying, wireless mobile Ad Hoc network gets a lot of attention from researchers in recent years. The original routing protocols cannot meet the requirements of unpredictable existing networks and frequent change of topological, so on basis of previous study, a lot of new AODV routing protocol researches on Ad Hoc network are conducted and this paper gives a proposal of an improved AODV routing protocol based on the adaptive scheme which is called CAODV (cognitive-based AODV). NS2 experimental simulation shows that the CAODV has more excellent properties than AODV, such as less reboot frequency of routing and less controlled load of protocols and higher success rate of repair of broken links, which prove the better adaptive property of CAODV for the dynamically changing wireless Ad Hoc network.

Key words: Ad Hoc network; AODV; routing protocol; CAODV

收稿日期:2014-12-06

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60902044)。

Supported by National Natural Science Foundation of China (60902044).

作者简介:梁建斌(1963-),男,副教授,主要从事网路通信、网络安全等方向研究,(E-mail)liangjw@esu.edu.cn;

马晓亮(通信作者),男,主要从事 Ad Hoc 网络技术、网络安全等方向研究,(E-mail)676771615@qq.com。

无线移动自组网络(即移动 Ad Hoc 网络, mobile Ad hoc networks, MANET)^[1-2]是由带有无线收发装置的移动节点所组成的一个多跳临时性的系统,具有抗毁性强、自组织、易铺设等优良的性质,越来越受到世界的广泛关注。移动自组网不需要预设的网络基础设施,该系统是完全分布式的,节点不仅是接收和发送信息的终端,并且还可以作为其他节点间通信的路由器,节点之间通过多跳无线链路进行相互通信。

目前,已经提出了多种路由协议来解决 Ad Hoc 网络中的路由问题,研究的 AODV 路由协议是一种按需路由协议,只有当节点需要的时候才创建路由。原始的 AODV 路由协议已然满足不了现有网络不可预测、频繁变化的拓扑结构的需要,现有的一些改进 AODV 路由协议在一定程度上提高了系统性能,但还存在诸多缺陷与不足。笔者在之前研究^[3]基础之上,对现有 Ad Hoc 网络中 AODV 路由协议进行了研究,并从网络自身性能出发,利用节点的邻居数目来设计路由算法,提出一种基于 AODV 协议的优化改进路由协议——基于认知的 AODV 路由协议(Cognitive-based AODV, CAODV)。

1 AODV 路由协议

1.1 Ad Hoc 网络路由协议的分类

现在学术界根据路由驱动方式的不同将 Ad Hoc 网络路由协议主要分为三类:第一类是以 DSDV^[4]、OLSR^[5]等为代表的表驱动式(Table Driven)路由协议;第二类是以 DSR^[6]、AODV^[7]、ABR^[8]为代表的按需(On Demand Driven)路由协议;第三类是以 ZRP^[9]为代表的混合式路由协议。3 种路由协议的性能比较如表 1 所示。

表 1 3 种路由协议性能比较

Table 1 Performance comparison of three types of routing protocols

性能参数	表驱动式	按需式	混合式
整体复杂性	中等	中等	高
典型代表协议	DSDV	AODV	ZRP
路由开销	大	小	一般
可扩展性	弱	中等	强
路由表维护	全局	无	小范围
路由获取时延	小	大	中等

综上所述可见:在网络结构拓扑相对稳定的环境中,应尽量采用表驱动式路由协议作为业务实时性要求较高的网络层协议;按需驱动式路由协议多用于拓扑结构频繁变化的 Ad Hoc 网络中;混合式路由协议,由于其较高的复杂性使得其并不实用。

1.2 AODV 协议概述

Ad Hoc 按需距离矢量路由协议(ad hoc on-demand distance vector routing, AODV)是按需式路由协议的一种,只有当节点需要的时候才创建路由,此协议具有路由开销少、网络资源占用少、路由控制简单、更容易拓展到大规模网络中等特点,但路由发现时间长,分组传输时延大。

AODV 协议的分组主要包括 3 种,负责路由启动发现机制的路由请求分组(route request, RREQ)、负责应答 RREQ 的路由答复分组(route reply, RREP)和负责报告路由断裂的路由错误分组(route error, RERR)。AODV 协议通过控制节点之间 3 种分组的交互从而实现路由的发现、维护功能。

1.3 AODV 协议的现状研究与不足

郭鹏程^[10]提出了一种改进型协议 B-AODV,在路由发现及局部修复建立新路由上进行改进,提高了路由修复功能、包成功投递率,减少了节点端到端的延迟,减少了路由开销。但是网络中的节点并不仅仅都是具有双向链路的,并没有对单向链路进行研究。谭跃生等人^[11]提出的 O-AODV 协议,减少了平均端到端的延迟时间,尤其是随着网络负载的加重,其改善的效果越发显著;路由负载率也比原先的 AODV 下降了不少,提高了网络的工作效率。沈奔等人^[12]提出了 M_EAODV,通过设置备份路由,可以有效地避免路由由重建,分组传送成功率得到提高,平均端对端时延明显减少,路由的开销也得到降低。但是由于备用路由的提供,增加了路由空间开销,网络性能的改善比较局限。叶继华等人^[13]提出了一种改进型协议 AODV-DD,利

用添加链路节点本地修复次数判定是否采用本地修复机制,在本地修复时采用断开节点和其后续两跳节点同时修复的双向修复,使路由协议性能有了一定提升,但交付率并没有很大的提升。张天明等人^[14]提出了协议 HI-AODV,增加路由缓存容量,在路由发现和路由维护中有效利用路由缓存信息和多径路由,帮助快速路由发现,减少路由发现过程,HI-AODV 在吞吐量和延时方面相对 AODV 有明显改进。但由于路由缓存容量的增加、节点的移动,路由表里存储的许多路由实际上已经失效,如果利用这些错误路由寻路或传送数据,就会失败,需要重新在全局范围发起寻路,相对 AODV 反而增加延时。

经典的 AODV 协议已经无法适应当前网络拓扑结构的频繁动态变化,笔者在之前研究的基础上,从网络自身性能出发,利用节点的邻居数目来设计自适应路由算法,提出 CAODV(cognitive-based AODV)路由协议,提高了路由协议对网络动态变化的适应能力,更适用于军事通信、紧急救援等。

2 CAODV 协议设计

2.1 优化协议的理论设计方案

一个节点邻居的数目在一定程度上表示了网络的局部状态信息,因此,可以利用节点的邻居信息来设计自适应的路由算法。利用这一点,提出了如下协议改进的方案设计:

1)在 RREQ 路由请求分组中增加一个 link_nnumber 字段,用来存储整个路由链路中所有节点的邻居数目的总和,当节点接收到路由请求分组后,查询本地的邻居链表,计算邻居个数,然后将 RREQ 分组中 link_nnumber 字段的值加上本节点邻居个数。当 RREQ 分组从源节点出发,经中间节点转发,最终到达目的节点时,分组中的 link_nnumber 字段就记录了整个链路中所有节点的邻居数目总和。

2)为使目的节点能够根据链路中邻居节点的个数来做出更好的路由选择,中间节点在接收到 RREQ 分组后只能继续转发 RREQ 分组,直至目的节点收到 RREQ 分组,即使其有到目的节点路由的,也不允许中间节点向源节点发送 RREP 分组。

3)目的节点在收到第一个 RREQ 分组后,允许其继续接收随后的同一个源节点发送的路由请求分组,而不再是直接将其丢弃。当第一个 RREQ 分组到达目的节点时,目的节点查看分组中的 hop_count 字段的值 K 和 link_nnumber 字段的值 NNumber,并根据公式

$$NANumber = \frac{NNumber}{K}, \quad (1)$$

计算出链路中每个节点的平均邻居个数 NANumber,并将其缓存。之后目的节点并不立即发送 RREP 分组,而是先等待一段时间,如果在这段时间内接收到从其他链路发送来的 RREQ 分组,计算出其链路节点平均邻居个数,与缓存的 RREQ 分组比较,如果其 NANumber 值较大,则更新缓存,否则丢弃。这段时间过后,目的节点根据缓存的 RREQ 分组,发送 RREP 分组,告知源节点其选择的路由。之后若再次接收到路由请求分组,则进行相同的处理,更新 RREQ 分组缓存,若有更好的路由则继续向源节点发送 RREP 分组,告知其切换路由。

4)当源节点首次接收到 RREP 之后,开始发送缓存的数据,若之后继续收到 RREP 分组,则说明有更好的路由,源节点进行路由切换,更新路由信息。

选择链路中节点平均邻居数目作为路由选择的比较参数,是因为节点的邻居个数反映了网络的拓扑信息,节点的平均邻居个数越多,节点修复断裂链路成功的概率越大,可以有效减少路由发现的频率,降低网络中的路由负载,使得网络性能得到提高。另外,跳数会影响数据的传输延迟,跳数少是一个路由好坏的判断标准之一,由于跳数处于平均邻居个数参数的分母的位置,平均邻居个数已经考虑到跳数的问题。

本方案与现有 AODV 协议相比,最大的优势是有较少的路由发现频率,增加了断裂链路修复成功的概率,减少了重启路由发现的频率;降低了 AODV 协议的控制负载,提高了 AODV 协议对网络动态变化的适应能力,提高了网络动态性能。

2.2 CAODV 协议的复杂度分析

在存储空间的占用方面,CAODV 协议充分利用了原 AODV 协议的已有数据结构,在 AODV 协议的基础上只增加了少量的存储空间,下面对存储空间的增加量进行的计算。

RREQ 分组中增加链路邻居数字段:

```
u_int32_t    rq_link_nnumber;
```

RREP 分组中增加链路平均邻居数字段:

```
float        rp_link_nnumber;
```

增加 RREP 分组缓存区:

```
nsaddr_t    rp_ipdst;
u_int32_t   rp_hop_count;
nsaddr_t    rp_rpdst;
u_int32_t   rp_rpsrq;
u_int32_t   rp_lifetime;
double      rp_timsetamp;
float       rp_nanumber;
double      rp_sendtime;
```

假设缓存中共 n 个 RREP 分组,IP 地址采用 IPv6 地址,那么共占用

$$n \times (3 \times \text{sizeof}(u_int32_t) + \text{sizeof}(\text{float}) + 2 \times \text{sizeof}(\text{nsaddr_t}) + 2 \times \text{sizeof}(\text{double})) + \text{sizeof}(u_int32_t) + \text{sizeof}(\text{float}) = (48n + 8)B$$

在计算复杂度方面,主要增加邻居点数计算运算,每个节点从邻居列表中计算邻居个数,假设每个节点的邻居个数为 n ,那么指针移动的次数和加法操作的次数分别为 n ,对于目的节点需要从 RREQ 分组中计算平均邻居个数,计算复杂度为一次浮点型的除法运算,还需要在 RREP 缓存中搜寻是否有相同的 RREP 分组,假设其缓存中有 m 个分组,那么搜寻的计算复杂度为 $m/2$,另外还要进行一次浮点型数据的比较操作,每次发送 RREP 分组时,目的节点都需要在缓存中搜寻需发送的分组,由于要确定分组中所有的需发送的分组都被搜寻到,其搜寻复杂度为 m 。

3 仿真结果与分析

为了对 CAODV 路由协议的性能进行分析,采用网络仿真软件 NS^[15] 版本 NS2.35 对 AODV、CAODV 分别在不同的节点数和不同的节点移动速度情况下进行了仿真分析协议路由发现频率以及路由负载等指标参数,用来衡量路由协议的性能。CAODV 协议性能分析仿真流程图如图 1 所示。

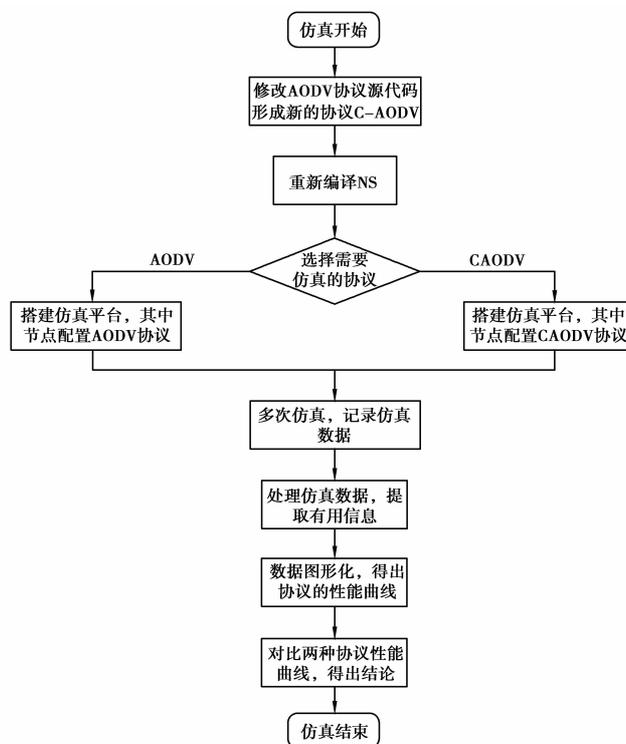


图 1 CAODV 协议性能分析仿真流程图

Fig.1 Discovery process diagram of AODV Routing protocol

3.1 仿真环境

无线多跳自组网的仿真区域为 $1\ 000\text{ m} \times 1\ 000\text{ m}$, 仿真时间为 300 s , 移动节点数目在 $10 \sim 100$ 之间以 10 为间距递增, 节点随机移动的最大速度在 $2 \sim 20\text{ m/s}$ 之间以 2 m/s 为间距递增, 节点发送 4 的 CBR 分组固定为 512 B , 分组发送率为 $40/\text{s}$ 。

为测试 CAODV 协议在不同节点数情况下的性能, 本文将节点移动最大速度固定为 10 m/s , 将节点数目分别设定为 $10, 20, \dots, 90, 100$, 为了去除偶然性, 每种情况下仿真多次。同样, 为测试 CAODV 协议在不同节点移动速度的情况下的性能, 本文将节点移动最大速度分别设定为 $2, 4, \dots, 18, 20\text{ m/s}$, 而设定节点的数目为 50 , 为了去除偶然性, 每种情况下仿真多次。另外, 为了对比 CAODV 与 AODV 的性能差异, 需要对 AODV 协议进行同样的仿真。协议仿真过程中的 NAM 界面如图 2 所示。

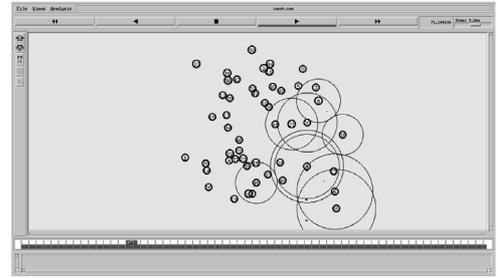


图 2 协议仿真过程中的 NAM 界面
Fig.2 NAM interface in the process of protocol simulation

3.2 仿真结果与分析

3.2.1 提取统计相关数据

使用 gawk 提取路由发现频率和路由负载的设计思路是分别计算目的节点应用层 AGT 成功接收分组的个数 cbrpkt_num 、分组类型为 CAODV 的分组个数 caodvpkt_num 和源节点发送协议分组类型为 REQUEST 的分组的个数 rreqpkt_num , 然后根据以下公式, 计算路由发现频率与路由负载。

$$\text{frequency} = \text{rreqpkt_num} / \text{cbrpkt_num}, \quad (2)$$

$$\text{proload} = \text{caodvpkt_num} / \text{cbrpkt_num}. \quad (3)$$

3.2.2 性能曲线分析

本文使用 gnuplot 对产生的数据进行绘图, 如图 3~6 所示。

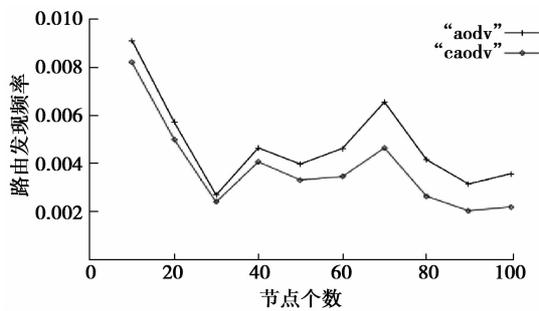


图 3 路由发现频率与节点个数曲线

Fig.3 The curve between frequency of route discovery and number of nodes

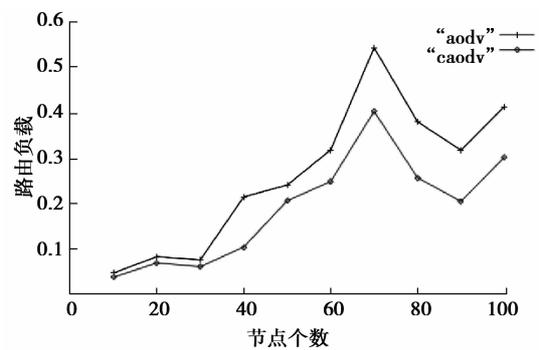


图 4 路由负载与节点个数曲线

Fig.4 The curve between routing load and number of nodes

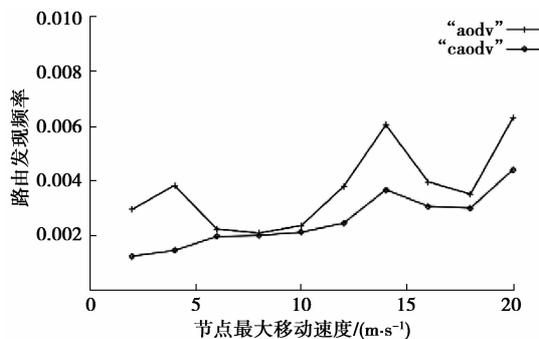


图 5 路由发现频率与节点移动速度的曲线

Fig.5 The curve between frequency of route discovery and nodes' moving speed

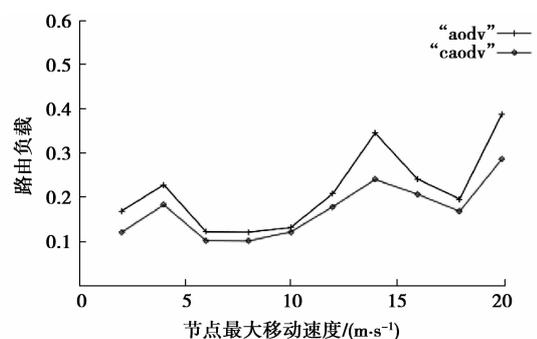


图 6 路由负载与节点移动速度的曲线

Fig.6 The curve between routing load and nodes' moving speed

由于目的节点选择的路由是邻居节点最多的链路,因此,当链路断裂启动本地修复进程时,更容易修复链路,源节点重启路由发现的概率降低,因此,图3~6显示CAODV协议的路由负载和路由发现频率都比AODV小。

图3显示随着节点的增多,AODV和CAODV协议的路由发现频率呈下降的趋势,这是由于节点增多,增加了网络连通性,路由修复成功的概率增加的缘故。

图4显示随着节点的增多,AODV和CAODV协议的路由负载呈增多的趋势,这是由于节点增多,路由分组的转发频率增多的缘故。

图5和图6显示随着节点移动速度的增多,AODV和CAODV协议的路由发现频率和路由负载都呈增加的趋势,这是由于节点移动速度增加导致链路断裂概率增加,进而使得路由发现、路由修复等概率增多,导致路由分组发送概率增加,路由负载和路由发现频率都增加。

综上所述,基于认知的路由协议CAODV有较少的路由发现频率,增加了断裂链路修复成功的概率,减少了重启路由发现的概率;降低了AODV协议的控制负载,提高了AODV协议对网络动态变化的适应能力,提高了网络动态性能。

4 结 语

笔者着重对Ad Hoc网络的路由协议进行了研究,并提出了相应的优化方案,阐述了基于认知的自适应设计思路,仿真实验表明,优化后的路由协议CAODV可以有效降低重启路由发现频率,增加断裂链路的修复功率,降低协议的控制负载,对现有网络的动态变化具有很强的适应能力。而这对于网络的整体自适应体系架构与机制的设计还远远不够。将基于认知的自适应设计思路运用到自适应MAC协议、自适应的QoS保证和自适应的能量控制等技术中,将是下一步的研究的重点。此外Ad Hoc网络的安全性能以及能量的分配也值得进一步地学习与研究。

参考文献:

- [1] Gupta P, Saxena P, Ramani A K, et al. Optimized use of battery power in wireless Ad hoc networks[C]// Advanced Communication Technology(ICACT), 2010 The 12th International Conference on.[s. n.]: IEEE, 2010:1093-1097.
- [2] Das V V, Vijayakumar R. Design parameters for a secure system for mobile ad hoc network[C]// Proceedings of the 2009 International Conference on Advances in Computing, Control, and Telecommunication Technologies. [s. n.]: IEEE Computer Society, 2009:534-536.
- [3] 梁建武,徐龙龙,徐建明. 基于冲突避免的DSR协议研究[J]. 微型机与应用, 2013, 32(16):48-50.
LIANG Jianwu, XU Longlong, XU Jianming. Avoid the DSR protocol based on conflict study [J]. Micro Computer and Application, 2013, 32(16):48-50. (in Chinese)
- [4] Huang T C, Chung W J, Huang C C. A revised aodv protocol with energy management for real-time/non-real-time services in mobile ad hoc network[C]// High Performance Computing and Communications, 2008. HPCC '08. 10th IEEE International Conference on. [s. n.]: IEEE, 2008:440-446.
- [5] Clausen T, Jacquet P. Optimized link state routing protocol[J]. Ietf Rfc, 2003:176-206.
- [6] Johnson D, Maltz D, Hu Y. The dynamic source routing protocol(dsr) for mobile Ad hoc networks for IPv4[J]. IETF Internet Draft, <http://www.ietf.org/rfc/rfc4728.txt>, 2007.
- [7] Perkins C E, Royer E M. Ad-hoc on-demand distance vector routing[J]. Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, 1999, 6(7):90.
- [8] Nasipuri A, Casta09eda R, Das S R. Performance of multipath routing for on-demand protocols in mobile ad hoc networks[J]. Mobile Networks & Applications, 2001, 6(4):339-349(11).
- [9] Chao H L, Liao W. On fair scheduling for mobile ad hoc networks with channel errors[C]// Vehicular Technology Conference, 2004. VTC2004-Fall, IEEE, 2004(4):2824-2828.
- [10] 郭鹏程. Ad Hoc网络AODV按需路由协议的研究[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(18):5207-5213.
GUO Pengcheng. Ad Hoc network AODV on-demand routing protocol research[J]. Science, technology and engineering, 2013, 13(18):5207-5213. (in Chinese)
- [11] 谭跃生,石磊,王静宇. 基于NS2的AODV路由协议研究与仿真[J]. 内蒙古科技大学学报, 2012, 31(1):81-84.

- TAN Yuesheng, SHI Lei, WANG Jingyu. The AODV routing protocol research and based on the NS2 simulation [J]. Journal of Inner Mongolia University of Science and Technology, 2012, 31(1): 81-84. (in Chinese)
- [12] 沈奔, 秦军, 万丽. 无线 Ad Hoc 网络中 AODV 路由算法的研究与改进[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(3): 150-153.
SHEN Hui, QIN Jun, WANG Li. Research and improvement of the AODV routing algorithms in wireless Ad Hoc network [J]. Computer Technology and Development, 2011, 21(3): 150-153. (in Chinese)
- [13] 叶继华, 李明, 王明文, 等. 一种改进的 Ad Hoc 网络路由协议 AODV-DD [J]. 冶金自动化, 2011, 35(5): 72-75.
YE Jihua, LI Ming, WANG Mingwen, et al. An improved Ad Hoc network routing protocol AODV-DD [J]. Journal of Metallurgical Automation, 2011, 35(5): 72-75. (in Chinese)
- [14] 张天明, 王培康. 移动 ad hoc 网络 AODV 协议的分析与改进[J]. 计算机辅助工程, 2008, 17(3): 61-64.
ZHANG Tianming, WANG Peikang. Mobile AD hoc network analysis and improvement of the AODV protocol [J]. Computer Aided Engineering, 2008, 17(3): 61-64. (in Chinese)
- [15] 林政文. 基于 NS2 的 Ad Hoc 网络性能仿真研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2010.
LIN Zhengwen. Ad Hoc network performance study based on the NS2 simulation [D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2010. (in Chinese)

(编辑 侯 湘)

(上接第 145 页)

- [20] Fusco G, Russo M. A nonlinear control of synchronous generator excitation for voltage regulation in power systems [J]. Control & Automation Mediterranean Conference on, 2008: 158-162.
- [21] Lahdhiri T, Alouani A T. Design of a nonlinear excitation controller for a synchronous generator using the concept of exact stochastic feedback linearization [C] // American Control Conference, 1997. Proceedings of the 1997. IEEE, 1997: 1963-1967.
- [22] 杜一, 郁惟镛. 采用神经网络和专家系统的变电站故障诊断系统[J]. 电力自动化学报, 2003, 15(5): 28-29.
DU Yi, YU Huaiyong. A substation fault diagnosis system using artificial neural network and expert system [J]. Journal of Electric Power Automation, 2003, 15(5): 28-29. (in Chinese)
- [23] Chen Z H, Xia H, Liu M. Study of expert system of fault diagnosis for nuclear power plant [J]. Nuclear Power Engineering, 2005, 26(5): 523-527.
- [24] 王仲生. 智能故障诊断与容错控制 [M]. 2 版. 西安: 西北工业大学出版社, 2005.
WANG Zhongsheng. Intelligent fault diagnosis and fault tolerant control [M]. 2nd editio. Xi' an: Northwestern Polytechnical University press, 2005. (in Chinese)
- [25] 徐显明, 张江滨. 基于 R-NN 的可控硅励磁系统故障诊断[J]. 微计算机信息, 2007, 23(25): 186-188.
XU Xianming, ZHANG Jiangbin. Fault diagnosis of silicon controlled excitation system based on R-NN [J]. Microcomputer Information, 2007, 23(25): 186-188. (in Chinese)
- [26] 张雨, 徐小林, 张建华. 设备状态监测与故障诊断的理论和实践 [M]. 北京: 国防科技大学出版社, 2000.
ZHANG Yu, XU Xiaolin, ZHANG Jianhua. The theory and practice of equipment condition monitoring and fault diagnosis [M]. Bei jing: National University of Defense Technology press, 2000. (in Chinese)
- [27] Wrate C A, Wozniak L. Hydrogenerator system identification using a simple genetic algorithm [J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 1997, 12(1): 60-65.
- [28] Zalis K. Application of expert systems in diagnostics of high voltage insulating systems [C] // Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Solid Dielectrics. [s.n]: IEEE, 2004: 691-694.
- [29] 张俊良, 李晓波. 基于 Labwindows/CVI 的发电励磁系统故障诊断[J]. 电机与控制应用, 2012, 39(9): 51-56.
ZHANG Junliang, LI Xiaobo. Fault diagnosis of generator excitation system based on Labwindows/CVI [J]. Motor and Control Application, 2012, 39(9): 51-56. (in Chinese)
- [30] Valverde L, Bordons C, Rosa F. Power management using model predictive control in a hydrogen-based microgrid [C] // IECON 2012-38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society. [s.n]: IEEE, 2012: 5669-5676.

(编辑 王维朗)