

# 一种井下无线自组织网络自愈路由算法

郭银景, 杨洪骞, 杨 涛, 于 磊, 杨尚霏

(山东科技大学 信息与电气工程学院, 山东 青岛 266590)

**摘 要:** 针对井下无线信道干扰严重、节点能量有限的特点, 提出了一种基于误码率和能量约束机制的井下无线自组织网络自愈 AODV 路由协议, 并采用 NS2 仿真工具进行了建模仿真。仿真结果表明, 改进的 AODV 路由协议在数据包成功接受率上略高于 AODV 路由协议, 较大幅度地减少了路由负担, 有利于节省网络能量。

**关键词:** 无线自组织网络; 路由协议; 井下无线信道; 误码率; 能量约束机制

中图分类号: TN926

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2012)01-0084-05

## A Self-healing Routing Algorithm for the Underground Wireless Self-organizing Network

GUO Yinjing, YANG Hongqian, YANG Tao, YU Lei, YANG Shangfei

(College of Information and Electrical Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

**Abstract:** In consideration of characteristics for the serious interference in underground wireless channels and the limited energy of nodes, the authors proposed a self-healing AODV routing protocol based on error rate and energy constraint mechanism, made a modeling simulation with the simulating tool of NS2. Simulation result showed that the improved AODV routing protocol had a slight improvement in terms of package delivery, and was enhanced greatly in routing load. Therefore, the improved AODV routing protocol decreased the routing load greatly, with the advantage of reducing the energy consumption of wireless network.

**Key words:** wireless self-organizing network; routing protocol; underground wireless channel; error rate; energy constraint mechanism

无线通信网络具有部署方便, 不易遭到破坏等特点, 更适合应用于井下通信, 因此, 无线通信在现代煤矿中的应用越来越广<sup>[1]</sup>。无线自组织网络所具备的无中心、自组织、拓扑结构可动态变化、可实现多跳路由等特点<sup>[2]</sup>, 适合于井下无线数据的传输。现有的无线自组织网络路由算法有表驱动路由算法和源驱动路由算法<sup>[3]</sup>。表驱动路由算法的每一个节点都需要定期维护全网络的路由表信息, 此算法会造成电池和网络带宽的浪费; 源驱动路由算法不需要定期维护网络信息和路由表项, 能节省带宽和电源能量<sup>[4-5]</sup>。

源驱动路由算法包含 AODV(Ad Hoc on-demand distance vector routing, 无线自组网按需距离矢量路由)、DSR(dynamic source routing, 动态源路由)、TORA(temporarily ordered routing algorithm, 临时按序路由算法)等。其中, TORA 是一种多路径路由算法, 适用于有高密度节点的网络, 但是, 由于 TORA 依赖外部同步时钟, 限制了其在井下无线自组织网络中的应用; DSR 分组携带大量的路由信息, 将消耗过多的能量<sup>[6]</sup>, 显然不满足实际要求; 而 AODV 协议只携带到达目的节点下一跳的路由信息, 耗能少<sup>[7]</sup>。本研究主要针对 AODV 协议进行性能分析、改进与仿真。

收稿日期: 2011-11-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(61071087); 山东省自然科学基金项目(ZR2011FM018);  
青岛市基础研究项目(11-2-4-4-(9)-jch)

作者简介: 郭银景(1966—), 男, 山东嘉祥人, 教授, 博士生导师, 主要从事无线通信及电磁兼容技术方面的研究。

E-mail: gyjlwh@163.com

## 1 井下无线通信信道特征

煤巷是空间受限信道,安装着大量的金属液压支架、车辆导轨、传输带托轮、防片帮网和锚杆等,电磁场的分布非常复杂,井下信道的波导效应与多径效应明显,电磁波近场反射与衍射强度较大<sup>[8]</sup>;通信范围内的不同区域场强差距很大,有些区域因金属的屏蔽而成为一个相对封闭的屏蔽区。井下信道的这些电磁波场特征明显区别于其他移动通信系统<sup>[9]</sup>。由此可见,煤矿井下电磁场环境复杂,而这将导致井下无线通信误码率较高,网络负载加重,节点能量消耗加速。

## 2 AODV 路由协议的改进

AODV 协议在已有的按需路由协议中消耗能量较少、网络负载较低,但作为干扰严重、误码率较高的井下无线自组织网络的路由协议仍有改进的空间。一方面,井下无线信号受到的干扰极其严重,需要根据井下无线信道的状态进行路由选择,已有的 AODV 路由协议不能完成此项任务;另一方面,节点能量有限,特别是在巷道入口处,传输数据量较大,节点能量消耗较快,需要在链路失效前实现路由自愈,维持自组织网络间的正常通信,而已有的 AODV 路由协议不能在链路失效前实现路由自愈。基于上述两方面考虑,本研究拟从误码率和能量约束机制两方面对井下无线自组织网络 AODV 路由协议进行改进。

### 2.1 基于误码率的 AODV 路由机制的改进

在传统的 AODV 路由协议中,路由表仅仅维护一条到达目的节点的路由记录,当该路由失效后,如果本地修复不成功,则需要源节点重新发起到达目的节点的路由发现过程。在 M-AODV 路由协议中,虽然保存了两条路径,但仅仅根据跳数多少作为评判主路由和备用路由的标准<sup>[10]</sup>。

本研究提出的基于误码率的 AODV 路由协议不仅考虑路由跳数,而且考虑误码率,并将误码率最低的路径作为主路由,将跳数最小的作为备用路由。当一条路径同时具备误码率最低、跳数最小两个条件时,将此路径作为主路径,将误码率仅次于主路由误码率的路径作为备用路由。具体过程如图 1 所示。

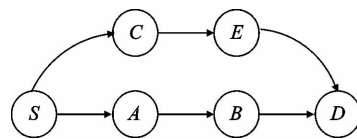


图 1 基于误码率的 AODV 协议  
通过程程示意图

Fig.1 Sketch of communication process of  
AODV routing protocol based on error rate

假设源节点 S 准备发送数据至目的节点 D,源节点 S 的路由表中未存有到达目的节点的路由信息,源节点 S 首先要发起路由发现过程,目的节点 E 收到来自源节点 S 的 RREQ(route request)报文后,经过反向路由将 RREP(route reply)报文传送给源节点 S。源节点 S 收到两条 RREP 路由信息,一条是 S—A—B—D,另一条是 S—C—E—D;源节点 S 比较两条路径的误码率,并将误码率较低的路径作为主路径。

本研究在 AODV 路由协议中加入误码率权值选项,通过修改 AODV 协议的路由机制获得误码率信息。在路由发现的过程中,可以根据两个节点之间的误码率设置一个权值,并将此权值添加到 RREQ 帧结构中,然后 RREQ 请求包会根据权值的不同来进行相应的处理。

定义两节点之间的权值为  $f(N_i)$ ,源节点到节点  $N_i$  的路径权值为  $P_i$ ,两个节点间的误码率可由物理层得到,记第  $N_i$  个节点和第  $N_{i-1}$  个节点间的误码率为  $\sigma_{i-1}$ ,则

$$f(N_i) = \frac{A}{1 + \sigma_{i-1}}; \tag{1}$$

$$P_i = \frac{\sum_{k=1}^t f(N_k)}{t - 1}. \tag{2}$$

其中:A 为设定的常数,t 为跳数。

当 RREQ 请求包从源节点向邻节点转发时,节点除了比较带宽是否满足要求,还要根据式(1)计算权

值,然后把当前节点的权值利用式(2) 添加到  $P_i$  中,这个  $P_i$  值包含在 RREQ 中,然后 RREQ 包继续向邻节点转发,直至到达目的节点。

### 2.2 基于能量约束机制的自愈 AODV 协议改进

在井下无线自组织网络通信中,网络中的一些节点由于过度使用导致其能量被迅速耗尽,特别是在井下巷道的入口处,数据较为集中,能量消耗较大,易导致节点失效而使通信中断。为了避免通信过程中断,保持通信的连续性,本研究拟采用能量约束机制改进 AODV 路由协议。

如图 2 所示,假设源节点  $S$  经  $S-A-B-C-D$  路径实现与目的节点  $D$  的通信,当节点  $C$  的能量低于约定值时,节点  $B$  首先监测到临界情况 ( $\text{Energy\_value} < \text{Energy\_Threshold}$ ),主动向其临近的上游节点  $B$  请求路由修复,节点  $B$  查看路由表确定其有无到达目的节点  $D$  的其他路由,若节点  $B$  存在到达目的节点的其他路由,自动切换至到达目的节点的新路径(此处为  $S-A-B-F-D$ );若节点  $B$  无其他路由,启动本地修复(图 3)。图 3 详细描述了基于能量约束机制的自愈 AODV 路由协议的流程。

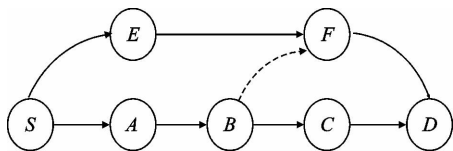


图 2 基于能量约束机制的 AODV 协议示意图  
Fig. 2 Sketch of AODV routing protocol based on energy constraint mechanism

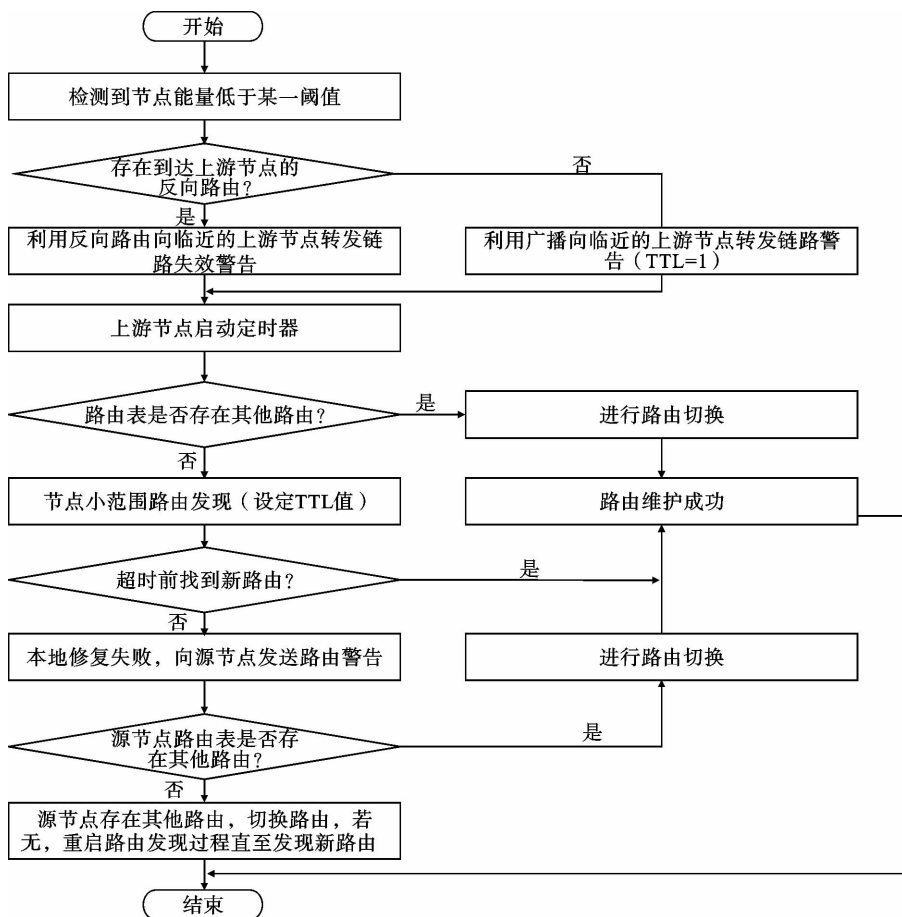


图 3 基于能量约束机制的自愈 AODV 路由协议流程图

Fig. 3 The flowchart of self-healing AODV routing protocol based on energy constraint mechanism

### 3 协议仿真性能分析

采用 NS2 软件,编写 OTCL 脚本对 AODV 协议进行仿真。由于 NS2 软件没有此网络协议的 C++类和 OTcl 类,需对相关的 C++类和 OTcl 类进行修改,并编写 OTCL 脚本对改进的 AODV 协议进行仿真。仿真过程如图 4 所示。

实验选用 NS 仿真环境,设置仿真基本参数。

#### 1) 误码率的设置

由于井下电磁环境复杂,误码率较高,故在仿真中单独调整误码率。

```
Set err[new ErrorModel]
$err set rate_ 0.10      # 设定误码率
$err unit pkt           # 误码率单位是包
Return $err             # 返回这个误差对象
```

#### 2) 在 TCL 文件中添加能量模型

```
在 TCL 脚本中添加变量
Set opt(energymode) EnergyModel
Set opt(initialing) 1000
Set opt(txPower) 1.0
Set opt(rxPower) 1.0
Set opt(idlePower) 0.8
在 TCL 脚本中增加如下协议:
-energyModel $opt(energymode)\
-initialEnergy $opt(initialing)\
-txPower $opt(txPower)\
-idlePower $opt(idlePower)\
-sleepPower 0.01\
-transitionPower 0.2\
```

#### 3) 产生 CBR 数据流

通过交通场景产生器,设定随机种子数为 1,传输的数据流为 CBR(constants bit rate,固定码率)流,传输速度分别为 4,8,16,32 和 64 kbps,采用的节点间最大连接数为 50。产生传输速度为 4 kbps 的随机数据流文件的命令如下:

```
ns cbrgen tcl-type cbr-nn 100-seed 1-mc 50-rate 1.0 > cvrgen_cbr_50_1_40_1
```

通过修改参数“-rate”的值,可以得到传输速度分别为 8,16,32 和 64 kbps 的随机数据流文件。

#### 4) 产生运动场景

通过 setdest 工具产生相应的运动场景文件,命令如下:

```
./setdest-v1-n100-p10-M20-t80-x600-y600>scen_M_20_new
```

该文件设定 100 个移动节点,停留时间为 10 s,最大速度为 20 m/s,仿真时间为 80 s,场景大小为 600 m × 600 m,并将结果保留到节点移动场景文件 scen\_M\_20\_new 中。

对 AODV 和改进的 AODV 的网络性能比较是在传输负荷较大、信道干扰严重的实验场景下进行的。从图 5、图 6 可以看出,改进的 AODV 数据包成功接受率略高于 AODV 路由协议,而在路由负荷上有了较大的改进。可见,改进的 AODV 协议较大幅度地降低了路由负担,数据传输量的减少,有利于节省网络能量。因此,改进的 AODV 协议比 AODV 协议更适合作为井下无线通信网络的路由协议。

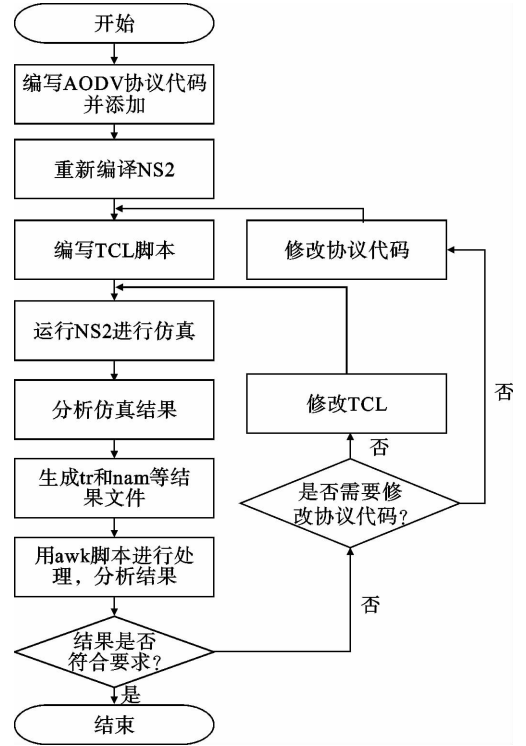


图 4 NS2 仿真过程框图

Fig. 4 The block diagram of simulation process with NS2

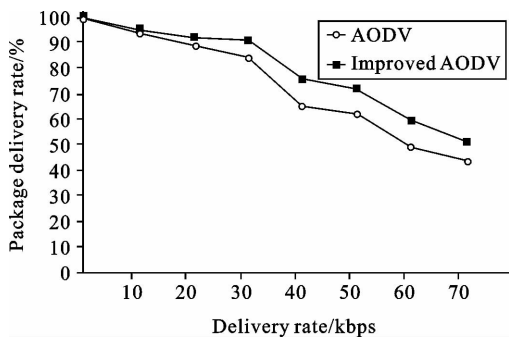


图 5 网络节点 100 时数据包成功接受率随传输速率比较图

Fig. 5 The comparison between package delivery and transmission rate with 100 network nodes

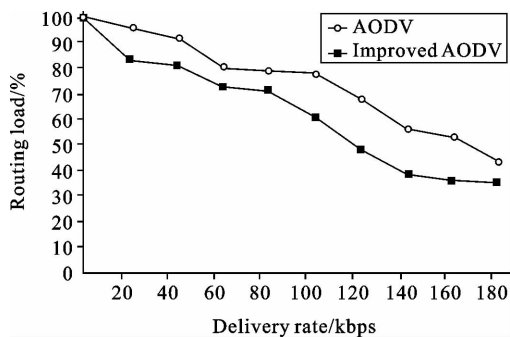


图 6 网络节点 100 时路由开销随传输速率比较图

Fig. 6 The comparison between routing load and transmission rate with 100 network nodes

## 4 结论

本研究设计的自组织网络自愈路由算法,充分考虑了巷道内电磁场强度的快速变化和强干扰等特点,具有路由速率消耗低和成功率高优良特性。通过对主路由评判机制进行优化,以误码率和能量约束两关键参数为评判指标,得到了具有良好自愈功能的低能耗路由选择和修复算法。通过 NS2 网络仿真软件对改进的 AODV 协议进行了性能仿真,结果表明,新的路由算法的稳定性和低耗能特性明显优于经典 AODV 路由算法。

### 参考文献:

- [1]JIANG D,WANG Q P,ZHAO Y,et al. The research and design of high reliability routing protocol of wireless sensor network in coal mine[C]//International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing, Wuhan, 24-25, Apr., 2009: 568-571.
- [2]冯美玉,程胜. Ad Hoc 网络中自愈路由协议研究[J]. 北京邮电大学学报, 2005, 28(2): 46-49.  
FENG Meiyu, CHENG Sheng. Study of self-healing routing protocol in Ad Hoc network[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2005, 28(2): 46-49.
- [3]秦丹阳,马琳,沙学军,等. 移动 Ad Hoc 网络中路由自愈的实现[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2010(1): 46-50.  
QIN Danyang, MA Lin, SHA Xuejun, et al. The route self-healing realization of mobile Ad Hoc[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2010(1): 46-50.
- [4]朱勇. 无线 Ad Hoc 网络路由协议比较研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2007.
- [5]何海狼,马龙. 多跳无线 Ad Hoc 网络路由协议的模拟和性能比较[J]. 电子科技, 2005(3): 2-6.  
HE Hailang, MA Long. The simulation of routing protocols in multi-hop wireless Ad Hoc networks[J]. Electronic Science and Technology, 2005(3): 2-6.
- [6]齐延增. Ad Hoc 网络按需路由协议的设计与性能分析[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.
- [7]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]//The 10th IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications, Dalian, 25-27, Sep., 2008: 440-446.
- [8]BAI M, ZHAO X G, HOU Z G, et al. A wireless sensor network used in coal mines [C]//2007 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control. London, 15-17, Apr., 2007: 319-323.
- [9]LIANG Q Q, LIU M Y, YUAN D F. Channel estimation for opportunistic spectrum sensing: uniform and random sensing [C]//Proceedings of Information Theory and Applications Workshop. San Diego, 31, Jan., 2010: 1-10.
- [10]范彪,施融化. 基于移动的 Ad Hoc 无线网络 MAODV 组播路由协议研究[J]. 计算机工程与设计, 2010, 31(1): 51-55.  
FAN Biao, SHI Ronghua. Study of MAODV multicast routing protocol based on Ad Hoc mobile wireless network[J]. Computer Engineering and Design, 2010, 31(1): 51-55.