

文章编号:1671-251X(2021)05-0083-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2020110026

# 矿山环境下基于 Ad Hoc 网络的多路径 QoS 路由算法

闫帅领, 张蕾

(衡水学院 数学与计算机学院, 河北 衡水 053000)



扫码移动阅读

**摘要:**为提高矿山环境下数据传输的完整性和准确性,提出了一种基于 Ad Hoc 网络的多路径 QoS 路由算法。该算法将区块链引入路由建立过程中,首先对节点进行区块化封装,使各节点利用 Merkle tree 维护其邻居节点;然后根据邻居节点的时间延迟和存活时间更新路径生存活力并进行区块连接;最后依次以中间节点相关性数值之和、路径长度、路径形成先后顺序作为路径选择标准,筛选数据传输主路径和备选路径。通过 3 个方面对路由进行维护:① 由于采用区块链使得每个节点均保留其邻居节点的信息,可通过查询路径出现断裂处的上一个节点的路由表,使用相邻节点替代,进而恢复路由。② 在主路径的可靠性评估下降到一定程度后即可启用备选路径。③ 在源节点处重新发起路由查找。仿真结果表明,在不同的节点数、数据包发送速率、节点移动速度情况下,该算法相比 AODV, DSR 算法具有较低的误码率和较好的路径生存能力。

**关键词:**矿山数据传输; 无线数据传输; 多路径 QoS 路由; Ad Hoc 网络; 区块链  
中图分类号:TD655      文献标志码:A

Multipath QoS routing algorithm based on Ad Hoc network in mine environment  
YAN Shuailing, ZHANG Lei  
(College of Mathematics and Computer Science, Hengshui University, Hengshui 053000, China)

**Abstract:**In order to improve the integrity and accuracy of data transmission in mine environment, a multipath QoS routing algorithm based on Ad Hoc network is proposed. The algorithm introduces the blockchain into the routing establishment process. Firstly, the nodes are block encapsulated so that each node uses the Merkle tree to maintain its neighbor nodes. Secondly, the path viability is updated according to the time delay and viability time of the neighbor nodes and the blocks are connected. Finally, the sum of intermediate node correlation values, path length and path formation sequence are used as path selection criteria in turn to filter the main and alternative paths for data transmission. The routing is maintained from three aspects as follows. ① The blockchain is applied so that each node retains the information of its neighbor nodes. The routing can be restored by querying the routing table of the previous node where the path is broken and using the neighbor nodes for substitution. ② After the reliability assessment of the main path drops to a certain level, the alternate path can be enabled. ③ The algorithm re-initiates routing querying at the source node. The simulation results show that compared with AODV, the DSR algorithm has a lower bit error rate and better path viability under different number of nodes, data packet transmission rate and node movement speed.

**Key words:** mine data transmission; wireless data transmission; multipath QoS routing; Ad Hoc network; blockchain

收稿日期:2020-11-12;修回日期:2021-05-16;责任编辑:盛男。  
基金项目:河北省高等学校科学技术研究项目(QN2020520);河北省创新能力提升计划项目(20550301K)。  
作者简介:闫帅领(1983—),男,河北鸡泽人,讲师,博士,研究方向为 Ad Hoc 网络安全和区块链技术,E-mail:463762065@qq.com。  
引用格式:闫帅领,张蕾. 矿山环境下基于 Ad Hoc 网络的多路径 QoS 路由算法[J]. 工矿自动化,2021,47(5):83-87.  
YAN Shuailing, ZHANG Lei. Multipath QoS routing algorithm based on Ad Hoc network in mine environment[J]. Industry and Mine Automation, 2021, 47(5): 83-87.

0 引言

在复杂的矿山环境中数据安全、可靠传输困难。目前,针对数据传输已开展很多研究。文献[1]将数据先传递到数据中心,再通过数据中心分发。文献[2]以 C/S(Client-Server,服务器-客户机)工作模式搭建数据传输架构,利用专用线路传输图像数据。文献[3-5]引入云计算以遏制无线数据传输对环境的依赖,确保数据传输的可靠性。文献[6]借鉴 AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing,无线自组网按需平面距离向量路由)协议的思想,通过无线传感器网络转发实现数据传输。文献[7]通过分组头压缩的改进型 DSR(Dynamic Source Routing,动态源路由)算法优化无线网移动通信数据传输性能。然而,文献[1-2]为有线数据传输,在矿山特殊环境下不易铺设线路且施工费用高,另外受天气影响线路容易产生破坏,导致数据传输失败。文献[3-5]通过云计算势必会增加数据处理时间,影响数据传输的实时性。文献[6-7]基于简单协议生成的路由算法更适用于矿山环境,但文献[6]未考虑数据传输过程中中间节点破坏的情况,文献[7]以最短路径作为路由选择标准,均未解决数据传输的准确性问题。因此,本文提出了一种矿山环境下基于 Ad Hoc 网络的多路径 QoS 路由算法(Multipath QoS Routing Algorithm, MQRA)。该算法在路由建立过程中引入区块链,可防止数据被篡改;通过 QoS 约束得到多条可用路径,再根据不同级别标准寻找数据传输主路径和备选路径,可避免数据丢失。

1 算法原理

1.1 QoS 相关参数定义

(1) 路由路径带宽。路由路径带宽是指整个路由路径中所有相邻节点的最小带宽。

$$B = \min\{B_{ij}\} \tag{1}$$

式中: $B$  为路由路径带宽; $B_{ij}$  为路由中相邻节点  $i, j$  ( $i, j=1, 2, \dots, n, n$  为网络中节点数,  $i \neq j$ ) 之间的通信链路带宽。

(2) 路径时间延迟。数据包从源节点到达目的节点所需时间为路径时间延迟。令网络中所有节点具有相同的处理能力和信道带宽,且所用的无线信道是对称的,路由请求探测包、目的节点的响应包及数据包的大小相等,则路径时间延迟为

$$T = T_{\text{pro}} + T_{\text{tra}} \tag{2}$$

$$T_{\text{pro}} = T_w + T_e \tag{3}$$

式中: $T_{\text{pro}}$  为节点转发数据包的时间; $T_{\text{tra}}$  为节点之

间传输数据包所用时间; $T_w$  为数据包在队列中的等待处理时间; $T_e$  为数据包的实际处理时间。

由于数据包在队列中的等待处理时间很短,可忽略不计,所以根据式(2)和式(3)可得

$$T = T_e + T_{\text{tra}} \tag{4}$$

(3) 路径生存活力。路径生存活力是指路径中节点最小存活时间。

$$E = \min\{E_i\} \tag{5}$$

$$E_i = \frac{\theta}{\omega + 1} + \alpha \tag{6}$$

式中: $E$  为路径生存活力; $E_i$  为路径中节点  $i$  存活时间; $\theta$  为节点能源; $\omega$  为节点连通度; $\alpha$  为节点存活的平衡因子。

(4) 路径生存能力。路径生存能力反映了路径的可用性,主要由路由路径带宽、路径时间延迟和路径生存活力决定。

$$M = \lambda \frac{B}{B_s} + \chi \frac{T}{T_s} + \delta \frac{E}{E_s} + \zeta \tag{7}$$

式中: $M$  为路径生存能力; $\lambda, \chi, \delta$  为调和系数,  $0 \leq \lambda, \chi, \delta \leq 1$ , 且  $\lambda + \chi + \delta = 1$ ;  $\zeta$  为路径生存能力的平衡因子,根据路径中数据包探测情况设定; $B_s, T_s, E_s$  分别为路由路径带宽、路径时间延迟和路径生存活力的估计标准值。

1.2 路由建立

矿山环境下的路由建立是一种由源节点发起的通过中间转发设备到达目的节点的过程。首先将源节点、中间节点及目的节点封装为独立的区块,然后利用请求/应答方式将各个区块进行有效连接,最后形成 1 条由源节点到目的节点的区块链。路由建立具体步骤如下。

(1) 节点通过周期性地向邻居节点广播探测包 EERQ 而逐渐形成稳定的区块,如图 1 所示。Pre-point 为上一节点地址,由于源节点为创世节点而不存在上一节点,所以源节点的 Pre-point 设置为 null;Merkle tree 保存源节点的邻居节点;ID 为本节点地址。

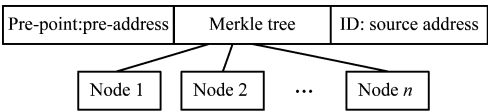


图 1 区块创建

Fig. 1 Block creation

(2) 源节点向邻居节点发送 EERQ(含无限大初始路径生存活力),并设置有效时间域  $\tau$ 。当传输过程中 EERQ 的时间延迟  $T_{\zeta}$  大于  $\tau$ ,则 EERQ 将由于寻找路径的时间延迟过长而失效。

(3) 邻居节点收到 EERQ 后,开启处理数据包



送速率为 0~35 个/s,仿真时间为 900 s。模拟矿山网络中存在至少 1 个女巫攻击节点,当节点数达 30 个后加入 1 个能源受限节点、达 40 个后加入 1 个黑洞节点、达 50 个后加入 1 个 DoS 攻击节点。

2.2 仿真结果分析

在固定节点移动速度(10 m/s)的条件下,数据传输误码率随网络中节点数变化情况如图 3 所示。可看出 MQRA 下误码率随着节点数增多先增大后平缓减小。这主要是由于随着节点数增多,网络中恶意节点增加,而区块链在构建时会出现控制包受到攻击而失效的情况,所以误码率偏大;一旦区块链网络形成,数据传输进入稳定时期,数据将会得到较好的保护,出现的误码主要来源于对最初探测包的攻击,因此误码率持续减小。AODV,DSR 算法由于未对传输的数据包进行保护,所以整体上随着恶意节点增多,会引起较多的数据包丢失,造成误码率增大。

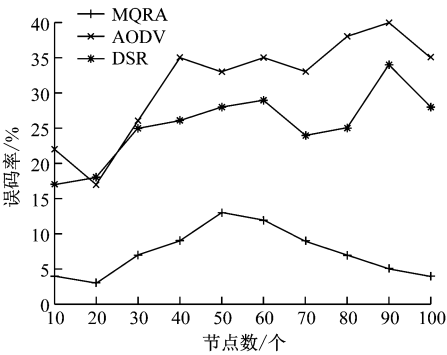


图 3 误码率随节点数变化情况

Fig. 3 Bit error rate variation with the number of nodes

网络中存在 50 个常规节点和 4 个恶意节点的情况下,误码率随数据包发送速率变化情况如图 4 所示。可看出 MQRA 下误码率随着数据包发送速率提高呈逐渐减小趋势。主要原因为最初的路由建立过程中,数据进行了区块封装操作,而在该过程中当数据包发送速率较慢则会出现较多的控制包被攻击而丢失的情况;随着数据包发送速率提高,区块链的校验功能变得完备,对数据包的保护能力提高,误码率不断减小。AODV,DSR 算法下误码率最初由于数据包发送速率较慢出现了短暂减小,主要是由于恶意节点此时并未开始对数据包进行碰撞攻击,但当数据包发送速率较高时,传输的数据包必然会遭遇恶意节点攻击,且没有数据防护措施,造成误码率增大。

误码率随节点移动速度变化情况如图 5 所示。可看出 MQRA 下误码率随着节点移动速度增大先增大再减小,主要原因在于节点移动速度较小时出现了 2 条路径同时断裂的情况,造成较多数据包丢

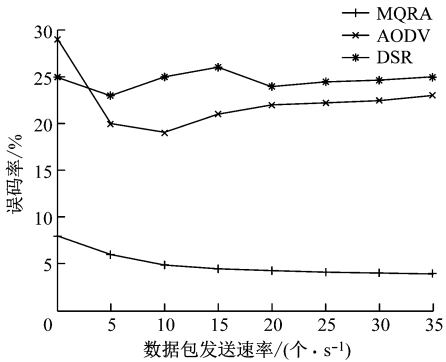


图 4 误码率随数据包发送速率变化情况

失,而之后随着节点移动速度增大,可快速恢复 2 条到达目的节点的路径。AODV,DSR 算法下误码率明显偏大,主要因为数据包在传输过程中受路径断裂及恶意节点攻击影响而大量丢失,并且随着节点移动速度越大,数据包丢失越严重。

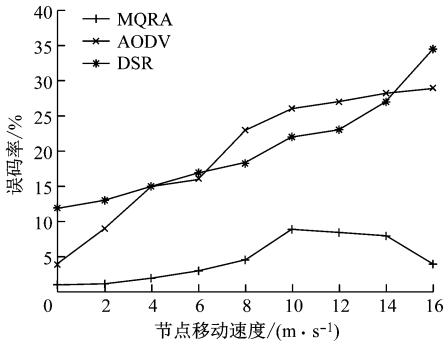


图 5 误码率随节点移动速度变化情况

Fig. 5 Bit error rate variation with node movement speed

路径生存能力随节点数变化情况如图 6 所示。可看出 MQRA 下路径生存能力随着节点数增多呈上升趋势,表明节点数越多,矿山数据传输越可靠,主要是由于节点数增多更利于形成区块链且不易断裂。AODV,DSR 算法下路径生存能力随着节点数增多呈下降趋势,主要是由于较为密集的节点数会使主路径不断更新,进而影响数据传输的可靠性。

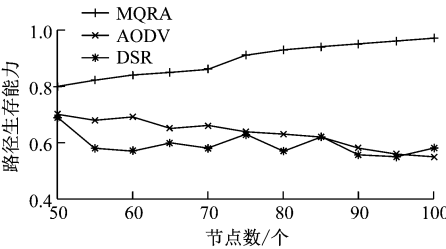


图 6 路径生存能力随节点数变化情况

Fig. 6 Path viability variation with the number of nodes

路径生存能力随数据包发送速率变化情况如图 7 所示。可看出 3 种算法下路径生存能力随着数据包发送速率增加均有所下降,这是由于较快的数据包发送速率导致数据包传输不及时。但 MQRA 下路径生存能力与 AODV,DSR 算法下相比下降较

为缓慢,主要原因在于区块链的使用确保了路径的可持续性,在路径建立初期便排除了可能出问题的节点。

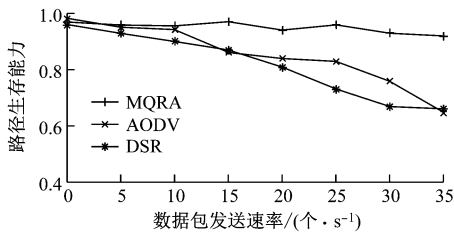


图7 路径生存能力随数据包发送速率变化情况  
Fig. 7 Path viability variation with packet transmission rate

3 结语

MQRA 引入了区块链思想:首先对节点进行区块化封装,使各节点利用 Merkle tree 维护其邻居节点;然后根据邻居节点的时间延迟和存活时间更新路径生存活力并进行区块连接;最后依次以中间节点相关性数值之和、路径长度、路径形成先后顺序作为路径选择标准,筛选数据传输主路径和备选路径。仿真结果表明,在不同的节点数、数据包发送速率、节点移动速度情况下,该算法相比 AODV,DSR 算法具有较低的误码率和较好的路径生存能力,可有效保证数据传输的完整性和准确性。

参考文献 (References):

[1] 杨郁. 数据中心网络传输数据安全自动监测系统设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2020(12): 103-106.  
YANG Yu. Design of automatic monitoring system for data security in data center network transmission [J]. Automation & Instrumentation, 2020 (12): 103-106.

[2] 张婷. 智能化掘进装备远程数据采集与分析平台研究[J]. 煤矿机械, 2021, 42(2): 186-188.  
ZHANG Ting. Research on remote data collection and analysis platform of intelligent driving equipment[J]. Coal Mine Machinery, 2021, 42(2): 186-188.

[3] 李丽惠. 云计算环境下的数据安全传输方式研究[J]. 漳州职业技术学院学报, 2020, 22(4): 80-86.  
LI Lihui. A study of the data security transmission modes in the cloud computing environment [J]. Journal of Zhangzhou Institute of Technology, 2020, 22(4): 80-86.

[4] 何德明. 云计算背景下的数据安全问题及防范策略探析[J]. 中国新通信, 2020, 22(11): 127-128.  
HE Deming. Analysis of data security issues and preventive strategies in the context of cloud computing[J]. China New Telecommunications, 2020, 22(11): 127-128.

[5] 韩美芳. 云计算下敏感数据安全传输可靠性评估仿真

[J]. 计算机仿真, 2018, 35(9): 405-408.

HAN Meifang. Research on reliability evaluation simulation of sensitive data security transmission under cloud computing [J]. Computer Simulation, 2018, 35(9): 405-408.

[6] 唐印伟, 张海洋. 一种基于 Zigbee 的适用于煤矿井下无线传感的路由协议研究[J]. 煤矿机械, 2010, 31(3): 82-85.  
TANG Yinwei, ZHANG Haiyang. Research on WSN routing protocol for underground mining based on Zigbee[J]. Coal Mine Machinery, 2010, 31(3): 82-85.

[7] 朱可. 无线网移动通信数据传输性能优化设计[J]. 计算机仿真, 2017, 34(2): 221-224.  
ZHU Ke. Wireless mobile communication data transmission performance optimization design [J]. Computer Simulation, 2017, 34(2): 221-224.

[8] 苟怡. Ad Hoc 网络应用于煤矿应急救援通信的研究[J]. 工矿自动化, 2010, 36(8): 98-101.  
GOU Yi. Application research of Ad Hoc network in coal mine emergency rescue communication [J]. Industry and Mine Automation, 2010, 36(8): 98-101.

[9] 王茵, 施燕峰, 胡圣波. 露天煤矿临近车辆检测 ad hoc 协议测试与选择[J]. 工矿自动化, 2018, 44(6): 21-26.  
WANG Yin, SHI Yanfeng, HU Shengbo. Testing and selection of ad hoc protocol for proximity vehicle test in open-pit coal mine [J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(6): 21-26.

[10] 梁宏. 基于无线多跳网络的矿井工作面视频监控系统[J]. 工矿自动化, 2020, 46(10): 114-118.  
LIANG Hong. Video monitoring system of mine working face based on wireless multi-hop network [J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(10): 114-118.

[11] 孙继平. 煤矿信息化自动化新技术与发展[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(1): 19-23.  
SUN Jiping. New technology and development of mine informatization and automation[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(1): 19-23.

[12] LEI Kai, ZHANG Qichao, LOU Junjun, et al. Securing ICN-based UAV ad hoc networks with blockchain [J]. IEEE Communications Magazine, 2019, 57(6): 26-32.

[13] POONGODI T, KHAN M, PATAN R, et al. Robust defense scheme against selective drop attack in wireless ad hoc networks [J]. IEEE Access, 2019, 7(6): 18409-18419.

[14] WEI Wei, SONG Houbing, WANG Huihui, et al. Research and simulation of queue management algorithms in ad hoc networks under DDos attack[J]. IEEE Access, 2017, 5(5): 27810-27817.