

文章编号:1671-251X(2020)05-0069-07

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.17547

基于 802.11ah 井下监测传感网的 RAW 重分组研究

杨俊秋¹, 王艳芬¹, 王倩玉¹, 陈晓晶², 刘丰祯², 孙彦景¹

(1. 中国矿业大学 信息与控制工程学院, 江苏 徐州 221116;
2. 天地(常州)自动化股份有限公司, 江苏 常州 213015)



扫码移动阅读

摘要:现有的 ZigBee、超宽带、WiFi 等井下无线传感网通信技术或传输距离短,或传输速率较低,或覆盖范围与接入设备数量受限,而 IEEE 802.11ah 协议满足井下无线传感网对传输范围、功耗、网络容量、传输速率等的要求,可用于井下监测传感网传输周期性监测数据。针对 802.11ah 协议中 MAC 层标准限制接入窗口(RAW)机制在进行传感节点分组时不灵活、易导致组间负载不平衡的问题,提出了一种基于时延优化的 RAW 重分组方法:根据数据包预计传输时间对所有传感节点重新分组,通过 3 次分组来减少 RAW 组内节点碰撞、降低传输时延。为实现 RAW 重分组,提出了关联标识符(AID)分组重分配方法:采用部分传感节点断开关联的方式,按重分组后的 RAW 组分批次为节点重新分配 AID,并将 AID 与节点 MAC 映射,从而减小 RAW 重分组时间开销,避免 AID 重分配过程中因数据无法传输而导致网络性能下降。仿真结果表明,随着井下监测传感网中传感节点增多,RAW 重分组方法较标准 RAW 机制的网络时延更小、吞吐量更大、丢包率更低,且重分组过程对网络性能影响较小。

关键词:井下监测传感网;无线传感网;传感节点分组;802.11ah 协议;RAW 重分组;AID 分组重分配

中图分类号:TD655 文献标志码:A

Research on RAW regrouping in underground monitoring sensor network based on 802.11ah

YANG Junqiu¹, WANG Yanfen¹, WANG Qianyu¹, CHEN Xiaojing²,
LIU Fengzhen², SUN Yanjing¹

(1. School of Information and Control Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China; 2. Tiandi(Changzhou) Automation Co., Ltd., Changzhou 213015, China)

Abstract: Existing communication technologies of underground wireless sensor network such as ZigBee, ultra wide band, WiFi and so on have some shortcomings, for example, transmission distance is short, transmission rate is low, or coverage and access devices are limited. However, IEEE 802.11ah protocol meets requirements of transmission range, power consumption, network capacity and transmission rate of underground wireless sensor network, and can be used for underground monitoring sensor network to transmit periodic monitoring data. For problems of inflexible grouping for sensor nodes and load imbalance among groups existed in standard restricted access window (RAW) mechanism of MAC layer in 802.11ah protocol, a RAW regrouping method based on time delay optimization was proposed, which regrouped all the sensor nodes for three times according to projected transmission time of data

收稿日期:2020-01-13;修回日期:2020-04-17;责任编辑:李明。

基金项目:徐州市重点研发计划项目(KC18105)。

作者简介:杨俊秋(1994—),男,四川泸州人,硕士研究生,研究方向为无线网络,E-mail:yang3j3q@163.com。通信作者:孙彦景(1977—),男,山东滕州人,教授,博士,主要研究方向为挑战环境下的嵌入式实时系统及无线传感网络,E-mail:yanjingsun_cn@163.com。

引用格式:杨俊秋,王艳芬,王倩玉,等.基于 802.11ah 井下监测传感网的 RAW 重分组研究[J].工矿自动化,2020,46(5):69-75.

YANG Junqiu, WANG Yanfen, WANG Qianyu, et al. Research on RAW regrouping in underground monitoring sensor network based on 802.11ah[J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(5): 69-75.

packages, so as to decrease node colliding in a RAW group and transmission time delay. In order to realize RAW regrouping, an assignment identifier (AID) group reassignment method was proposed, which redistributed AID to sensor nodes group by group according to regrouped RAW group and made the AID map to MAC of the nodes by use of part nodes disconnecting access point, so as to decrease RAW regrouping time consumption and avoid network performance degradation caused by no data transmission during AID redistribution. The simulation results show that when underground monitoring sensor network adopts the RAW regrouping method, the network has less time delay, larger throughput and lower packet loss rate than the standard RAW mechanisms with sensor nodes increase, and regrouping process has little influence on the network performance.

Key words: underground monitoring network; wireless sensor network; sensor node grouping; 802.11ah protocol; RAW regrouping; AID group reassignment

0 引言

煤矿安全开采需要对井下温湿度、有害气体浓度、煤层压力等数据进行采集与监测。早期煤矿监测系统通常采用有线通信方式,布线复杂、网络结构相对固定且容易被破坏。无线传感网用于井下监测^[1-3]解决了上述问题,提高了煤矿安全监测和危险预警水平。目前井下无线传感网通信技术虽然已初具规模,但仍存在不少缺陷,如:ZigBee 技术虽具有复杂度、功耗、成本低,网络容量大等特点,但其井下传输距离不到 100 m,且传输速率较低;UWB(Ultra Wide Band,超宽带)技术与 ZigBee 相比传输速率高,且抗干扰性好,多径分辨能力强,但传输距离仅为 10 m 左右,多用于井下定位,不适用于煤矿环境监测;WiFi 技术虽然能提供较高的传输速率,但其覆盖范围与接入设备数量受限。

2016 年 12 月,IEEE 发布了 802.11ah 协议^[4]。该协议采用 900 MHz 频段,与传统的 2.4,5 GHz WiFi 协议相比,其在井下的穿透能力强,有更广的通信范围(理论上可达 1 km)。该协议支持最多 8 191 个设备接入、150 kbit/s~78 Mbit/s 传输速率选择,且功耗小,满足井下无线传感网对传输范围、功耗、网络容量、传输速率等的要求,可用于煤矿井下复杂环境监测与预警系统。

IEEE 802.11ah 协议在 MAC 层引入 RAW (Restricted Access Window,限制接入窗口)机制,将无线终端节点分为多个 RAW 组,为每组分配 1 个时间窗口,在该时间窗口内只允许组内节点采用 EDCA(Enhanced Distributed Channel Access,增强型分布式信道访问)机制接入信道,其余节点不能接入,大大减少了大规模无线传感网中节点间碰撞和干扰。然而,标准 RAW 机制只将 AID (Assignment Identifier,关联标志符)连续的节点分为一个 RAW 组,即 AP(Access Point,接入点)在分

组配置文件中设置每个 RAW 组的起始 AID 和终止 AID,将 AID 位于二者之间(包含起始 AID 和终止 AID)的节点分为一组。该分组方式不灵活。另外,通常情况下标准 RAW 机制依据节点关联 AP 顺序分配 AID,而节点关联 AP 的随机性导致 RAW 分组具有随机性,易导致组间负载不平衡,即一部分 RAW 组内流量大、负载重,而另一部分 RAW 组内流量小、负载轻,进而影响网络性能。因此,有必要针对 IEEE 802.11ah 协议研究有效的 RAW 分组方法。文献[5]引入门限判决机制,通过仿真实验提出了 RAW 最优分组方案。文献[6-8]提出了满足无线传感网 QoS(Quality of Service,服务质量)的 RAW 优化分组方案,在时延、能量等约束的场景中建立数学模型,改善了 RAW 分组情况。文献[9]提出每个 RAW 组持续时间应根据其所在的 RAW 组大小来确定,通过仿真验证了该方法可增加上行链路吞吐量。文献[10-11]提出了一种实时流量自适应 RAW 优化分组算法,AP 通过检测每个节点在前一个信标内的传输信息,确定在下一个信标内为每个节点分配的资源量,提高了动态异构无线传感网的上行链路吞吐量。但上述文献只研究了 RAW 分组方法,并未考虑分组的具体实现方案。

本文针对基于 802.11ah 井下监测传感网的周期性监测数据,提出了一种基于时延优化的 RAW 重分组方法,通过 3 次分组解决标准 RAW 机制存在的组间负载不平衡问题。为实现 RAW 重分组,提出了 AID 分组重分配方法,使得监测传感网能够根据网络环境灵活调整 RAW 分组,提高了 RAW 重分组过程中的网络性能。

1 网络模型

本文研究的井下监测传感网模型如图 1 所示。该网络中存在 N 个不同类型(I,II,III)的传感节点,如有害气体浓度传感节点、震动传感节点、压力传感

节点等。所有节点支持 IEEE 802.11ah 协议。假设各类传感节点采样间隔不同,采样数据包大小相同,且周期性地向 AP 发送采样数据包。AP 汇聚数据包后通过网关传送给地面监控设备。网络中传感节点位置固定,采用单 AP 负责处理一定范围内传感节点数据。

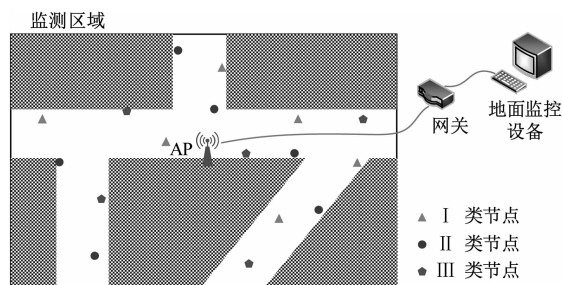


图1 井下监测传感网模型

Fig.1 Model of underground monitoring sensor network

AP 与传感节点间采用基础架构模式进行单跳组网,并通过 RAW 机制管理信道资源。AP 在初始分组配置文件中将所有传感节点划分为 K 个 RAW 组 $g_k (k=1,2,\dots,K)$,并为每个组分配 1 个 RAW,设为 W_k 。每个 RAW 组内节点按 DCF (Distributed Coordination Function) 机制竞争使用信道。AP 周期性广播携带 RAW 分组信息 RPS (RAW Parameter Set, RAW 参数集) 的信标,传感节点接收信标帧,并根据帧中 RPS 判断其对应的 RAW 组及 RAW 组持续时间。传感节点仅在已分配的 RAW 组持续时间内醒来,与同组节点竞争使用信道上传数据包,其余 RAW 组的节点在该时间段内保持睡眠状态。

网络环境发生改变可能导致初始 RAW 组集合 $G_K = \{g_k\}$ 网络性能不佳,因此需要重新分组。设重新分组后传感节点被划分为 M 个 RAW 组 $g'_m (m=1,2,\dots,M)$,节点在 g'_m 内传输数据包。

2 RAW 重组方法

在进行重分组时,需要确定新的 RAW 组数、持续时间及各组节点信息。本文提出一种基于时延优化的 RAW 重分组方法,通过分析数据包预计传输时间,将所有传感节点重新分组,并设计 3 次分组以减少节点间碰撞、降低时延。该方法原理如图 2 所示,具体步骤如下。

(1) 在节点关联 AP 阶段,AP 通过帧交互获得并记录节点 $S_1, S_2, \dots, S_N$ 的传输周期及初始发包时间。设 T 为各节点传输周期的最小公倍数, T 内所有传感节点有 δ 个数据包待传输,由 AP 记录的信息可知数据包 i 的传输开始时刻 $t_s^i (0 \leq i \leq \delta)$,则其传输结束时刻 $t_e^i = t_s^i + t_x$,其中 t_x 为 1 个数据包在无

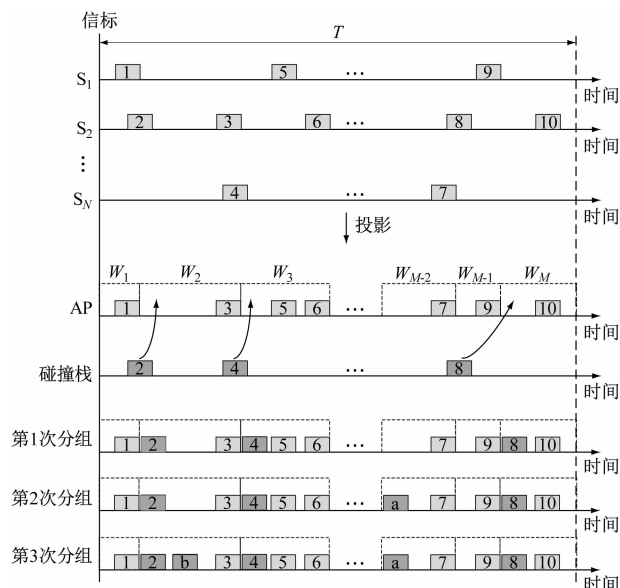


图2 RAW 重组方法原理

Fig.2 Principle of RAW regrouping method

竞争状态下的传输时延。由于数据包大小固定,所以 t_x 为固定值,表示为

$$t_x = T_{\text{pkt}} + T_{\text{ACK}} + T_{\text{DIFS}} + T_{\text{SIFS}} \quad (1)$$

式中: T_{pkt} 为数据包传输时间,由数据包大小和调制编码方式决定; T_{ACK} 为传输确认信息的传输时间; $T_{\text{DIFS}}, T_{\text{SIFS}}$ 分别为 IEEE 802.11ah 协议的帧间间隔和短帧间隔。

根据每个数据包传输开始时刻和结束时刻,可得到每个数据包预计传输时间。将所有数据包预计传输时间投影到 AP 调度时间轴上。

(2) 根据各数据包预计传输时间计算相邻 2 个数据包的预计传输时间间隔:

$$\Delta_i = (t_s^{i+1} - t_e^i) / (t_x + t_p) \quad (2)$$

式中 t_p 为 2 个传输数据包之间的保护间隔。

(3) 根据 Δ_i 对数据包进行 RAW 分组,即对数据包对应节点分组(第 1 次分组)。若 $\Delta_i < 0$,表明数据包 $i+1$ 和数据包 i 发生碰撞,将预计传输时间晚的数据包 $i+1$ 放入碰撞栈中,等待后续安排,将数据包 i 放入当前时间对应的 RAW 组内即时传输;若 $0 \leq \Delta_i < 1$,表明数据包 $i+1$ 和数据包 i 之间间隔太小,不足以安排 1 个数据包传输,此时将 2 个数据包放入同一个 RAW 组内传输,保证 2 个数据包能即时传输;若 $\Delta_i \geq 1$,表明数据包 $i+1$ 和数据包 i 之间间隔足以容纳 1 个数据包传输,因此在该间隔内加入数据包传输,为了避免影响数据包 i 传输,将加入的数据包和数据包 i 放入 2 个不同的 RAW 组。以 t_e^i 作为上一个 RAW 组 W_m 结束时刻,即下一组 W_{m+1} 开始时刻。

(4) 由步骤(3)可确定 g'_m 持续时间,此时 g'_m 内只有即时传输数据包。为了提高信道利用率,检查

g'_m 持续时间开始阶段的空闲时间是否可以容纳 1 个数据包传输,若是则检查碰撞栈中是否存在碰撞数据包待传输,若存在则按“先入后出”原则弹出 1 个数据包放入 g'_m 内,若碰撞栈中没有数据包或 g'_m 没有足够空闲时间,则继续进行 g'_{m+1} 配置。置于 g'_m 的碰撞数据包由于在 g'_m 持续时间开始阶段使用信道,所以不会与即时传输数据包发生时间重叠。

第 1 次分组依据数据包后是否有足够的预计传输时间间隔来划分 RAW 组,第 1 次分组完成即确定了每个 RAW 组 g'_m 持续时间。如图 2 所示,在数据包 3 处计算其与数据包 4 预计传输时间间隔,得 $\Delta_3 < 0$,则数据包 3 与数据包 4 发生碰撞,将数据包 4 压入碰撞栈中,然后计算数据包 3 与数据包 5 的预计传输时间间隔,得 $\Delta_3 > 1$,检测到后续有空闲时间,则从上一个 RAW 组 (W_1) 结束时刻到数据包 3 结束时刻划分为一个 RAW 组 (W_2),而与数据包 3 碰撞的数据包 4 放入下一个 RAW 组 (W_3) 中传输,从而保证数据包 3 即时传输至 AP,并减小数据包 4 的传输时延。

(5) 检查碰撞栈中是否存在碰撞数据包,若存在则开始第 2 次分组。首先遍历查询所有 RAW 组 g'_m 是否有足够的空闲时间且未分配碰撞数据包(如图 2 中 W_{M-2}),若有则从碰撞栈中依次弹出碰撞数据包(如数据包 a)分配给这些 RAW 组。此时,所有存在足够空闲时间的 RAW 组内已分配了 1 个碰撞数据包,该数据包于 RAW 组持续时间开始阶段使用信道,不影响即时传输数据包的交付。

(6) 第 2 次分组完成后,检查碰撞栈中是否还存在碰撞数据包,若有则开始第 3 次分组。根据预计传输时间计算每个 RAW 组经 2 次分组后可用空闲时间 $\Delta_i - 1$,将 $\Delta_i - 1 > 1$ 的 RAW 组按可用空闲时间大小降序排序,依次从碰撞栈中随机获取碰撞数据包(如图 2 中数据包 b)并安排分组,直至 RAW 组可用空闲时间用完,不够安排 1 个数据包传输。此时信道已饱和,将碰撞栈中仍存在的数据包丢弃。随机选择传输碰撞数据包可避免在信道饱和和情况下个别节点的数据包始终无法传输。

RAW 重分组方法根据数据包预计传输时间对节点重新分组。通过第 1 次分组确定 RAW 组数和持续时间,对即时传输数据包进行分组,并把一部分碰撞数据包按最小时延安排分组;第 2 次分组允许每个 RAW 组中只含有 1 个碰撞数据包,该数据包在 RAW 组空闲时间段传输,此时 RAW 组内无碰撞;第 3 次分组在网络中负载较重时使用,以减小碰撞为目的进行分组。通过 3 次分组确定了新的 RAW 组数、各组持续时间和组内节点信息。

3 RAW 重分组实现方法

为实现 RAW 重分组,提供一种简单可行的 AID 重分配方法:AP 通过重关联为同一 RAW 组内节点重新分配连续 AID。该方法具体步骤:① 根据 RAW 重分组方法确定 RAW 组数和各组内节点的 MAC 地址。② 按分组顺序建立各 RAW 组映射表,将组内节点 MAC 地址映射为连续 AID(即重新分配的 AID)。③ AP 解除与所有节点的关联。④ 节点向 AP 重新发送关联请求,AP 依照 RAW 组映射表查找请求节点 MAC 所对应的 AID,将其回复给请求节点。为了保证节点传输的公平性,避免一部分节点因竞争失败导致关联时间过长,设定所有节点成功关联后才允许节点传输数据。

AID 重分配方法可解决非连续 AID 分组问题,但 AP 需要解除与所有节点的关联,并重新关联。在大规模监测传感网中,因信道竞争严重,重关联过程时间较长,导致时间开销较大。另外,在网络运行过程中进行 AID 重分配将导致所有节点在断开关联时间内产生的数据包无法得到及时处理而出现丢包现象,影响网络有效性和可靠性。

针对上述问题,本文提出一种 AID 分组重分配方法:采用部分节点断开关联的方式,按重分组后的 RAW 组分批次为节点重新分配 AID,并映射到新的 RAW 组集合 $G'_M = \{g'_m\}$ 中,以减小 RAW 重分组时间开销,降低节点关联时的碰撞概率,避免 AID 重分配过程中数据无法传输问题。该方法原理如图 3 所示,具体步骤如下。

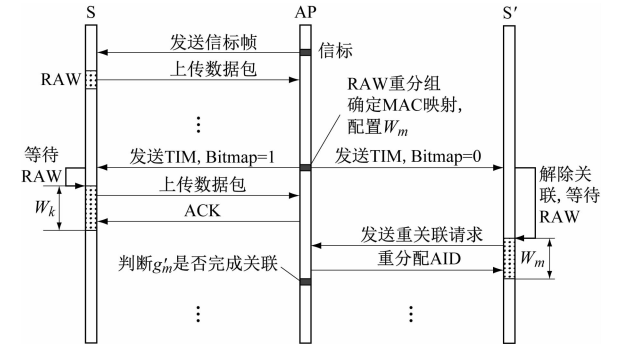


图 3 AID 分组重分配方法原理

Fig. 3 Principle of AID group reassignment method

(1) 在网络初始阶段,所有节点通过 CDMA/CA 方式与 AP 建立连接,AP 根据关联顺序为其分配 AID,按初始分组配置文件并根据 AID 连续性对关联节点进行分组,得到初始 RAW 组集合 $G_K = \{g_k\}$, g_k 内节点为 S。

(2) 当网络环境发生改变时,初始 RAW 组性能不佳,需要进行 RAW 重分组,得到 G'_M 。在确认

重分组 G'_M 后,AP 根据步骤(1)中获得的节点 MAC 地址,建立节点 MAC 地址与重分组后节点 AID 的映射表。为了避免 G'_M 与 G_K 冲突,将重分组后节点 AID 与原 AID 置于不同页中。

(3) 按照重分组后 RAW 组顺序,AP 通过广播信标帧主动解除与当前配置 RAW 组 g'_m 内节点关联,取消节点 MAC 地址与原 AID 的对应关系。通过信标帧中 TIM(Traffic Indication Map,流量指示图)的位图(Bitmap)信息指示解除关联的节点,即位图中“0”所对应 AID 的节点。其他关联节点仍在原 RAW 组内传输数据,如图 3 所示,其中 S' 表示 g'_m 内节点。

(4) 在信标间隔内扩展 1 个时长为 t_m 的 RAW,如图 3 中 W_m, t_m 由 RAW 重分组方法确定。为了合理利用剩余时间,将初始 RAW 组持续时间压缩,得到第 k 个初始 RAW 组持续时间:

$$t_k = \frac{T_k}{\sum_{k \in K} T_k} (T_{\text{beacon}} - T_{\text{overhead}} - \sum_{m=1}^M t_m) \quad (3)$$

式中: T_k 为第 k 个初始 RAW 组中剩余节点预计传输时间; T_{beacon} 为信标间隔; T_{overhead} 为 T_{beacon} 内传输控制等信息所用的时间开销。

(5) 在确定所有分组及其持续时间后,将更改后的分组信息更新到信标帧中 RPS 信息,由 AP 广播给所有节点。接收到 AP 广播信标帧中的 RPS 信息后,在初始 RAW 组持续时间中,未被取消关联的节点依然在所属的 RAW 组中传输数据,重关联节点在重分组后 RAW 组内传输数据包。在当前配置的 g'_m 持续时间内,为了保证节点重关联效率,仅允许 g'_m 内节点重关联 AP 而不上传数据。节点在重关联时向 AP 发送关联请求,如图 3 所示,AP 根据步骤(2)建立的映射表,为重关联节点重新分配 AID。

(6) 为了确保 g'_m 内节点全部关联,在该信标间隔时间结束后,AP 统计 g'_m 内节点是否全部关联:若全部关联,则跳转至步骤(3),开始配置 W_{m+1} ;否则在下一个信标间隔内继续执行步骤(5)操作,配置 W_m ,直至 g'_m 内节点全部重关联。当所有重分组 RAW 组配置完成,初始 RAW 组被取代。

在 AID 分组重分配方法中,每个信标间隔内仅有 1 个 RAW 组持续时间用于节点重关联,其他 RAW 组在重分组过程中仍可传输数据,使得 RAW 重分组过程对网络性能影响较小。与 AID 重分配方法中所有节点在信标间隔内竞争关联 AP 相比,AID 分组重分配方法每次仅重新关联一部分节点(g'_m 内节点),减小了节点碰撞概率和退避阶数,可有效降低重关联时延。

4 仿真及结果分析

采用 NS3 仿真工具对 RAW 重分组方法的传输性能进行评估^[12],并与标准 RAW 机制进行比较。设井下监测传感网中传感节点在半径为 400 m 的区域内随机分布,AP 位于区域中心。网络中设置 3 种传感器,采样周期分别为 0.5,1,2 s。仿真时间为 200 s。网络主要参数如下。

频率/MHz	900
信道噪声/dB	6.8
仲裁帧间间隔时间/ μ s	316
信标间隔/s	2
拥塞窗口	(15,1 023)
RAW 中 slot 数	1
速率控制算法	Constant
调制编码方式	MCS0
带宽/MHz	2
数据包/bytes	64

采用 AID 分组重分配方法和 AID 重分配方法时监测传感网的信道利用率(业务数据包传输所用时间与总信道可用时间的比值)和节点平均关联时间分别如图 4、图 5 所示。在 10.5 s 时对 50 个节点进行 RAW 重分组,重分组前后 RAW 组均为 8 个。从图 4 可看出:AID 重分配方法在 RAW 重分组过程中信道利用率为 0,导致所有节点在该时间段内采样数据包丢失,网络传输性能严重下降;而 AID 分组重分配方法虽略微延长了 RAW 重分组时间,但该时间段内信道利用率仅降低 10% 左右,对网络传输性能影响较小。从图 5 可看出,AID 分组重分配方法因采用分 RAW 组重关联代替集中重关联,节点关联 AP 时间大幅降低,当网络中有 500 个节点时,节点平均关联时间仅为 AID 重分配方法的 1/5 左右,提高了 RAW 重分组过程中的网络性能。

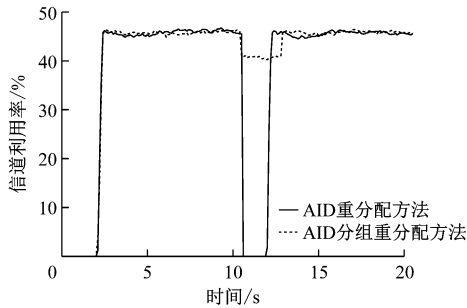


图 4 监测传感网信道利用率

Fig. 4 Channel utilization rate of monitoring sensor network

从网络时延、吞吐量和丢包率 3 个方面对 RAW 重分组方法性能进行评估,并与 RAW 组数为 4,8,32 时的标准 RAW 机制进行对比,结果如图 6—图 8 所示。

从图 6 可看出:网络时延随节点数增加而增大,

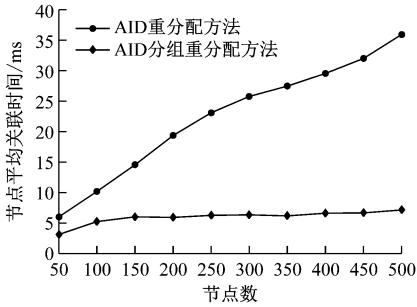


图 5 RAW 重分组过程中节点平均关联时间

Fig. 5 Average association time of nodes during RAW

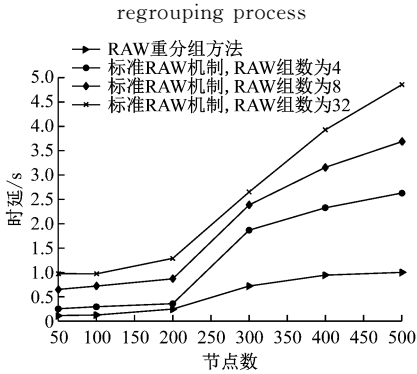


图 6 网络时延对比

Fig. 6 Network time delay comparison

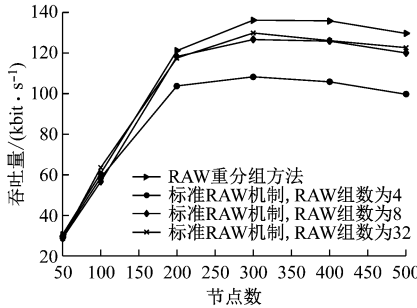


图 7 吞吐量对比

Fig. 7 Throughput comparison

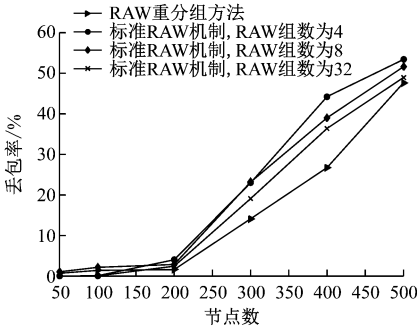


图 8 丢包率对比

Fig. 8 Packet loss rate comparison

原因是节点数增加导致信道竞争剧烈,节点间碰撞概率增大;标准 RAW 机制中组数越多,网络时延越大,原因是 RAW 组数过多会导致单个 RAW 组持续时间减小,部分数据包无法在当前 RAW 组内传输,被退避至下一个信标间隔对应的 RAW 组内传输;RAW 重分组方法的网络时延小于标准 RAW

机制,如存在 500 个节点时网络时延降低了61.9%,原因是 RAW 重分组方法在 1 个周期内对每个数据包对应的节点进行分组,网络时延不会超过该周期时间。

从图 7 可看出:当节点不超过 200 个时,由于节点间数据碰撞较少,RAW 重分组方法和标准 RAW 机制的吞吐量相差不大;对于标准 RAW 机制,当节点超过 200 个时,节点间数据碰撞严重,RAW 组数越多则数据碰撞越少,吞吐量越高,但其增高受到一定限制,如 RAW 组数为 8,32 时吞吐量基本相等,此时 RAW 组数不是影响吞吐量的主要因素;当节点超过 200 个时,RAW 重分组方法的吞吐量较标准 RAW 机制优势明显,如 400 个节点情况下较 RAW 组数为 32 时提高了 7.6%。

从如图 8 可看出:当节点不超过 200 个时,RAW 重分组方法和标准 RAW 机制的丢包率基本相等且变化不大;当节点超过 200 个时,丢包率因碰撞加剧而逐渐增大;对于标准 RAW 机制,在节点数大于 200 情况下,RAW 组数为 4 时丢包率较大,原因是节点较多时,在单个 RAW 组内仍存在节点间数据碰撞,而 RAW 组数为 8,32 时丢包率相差不大,表明此时 RAW 组数对丢包率影响较小;当节点超过 200 个时,RAW 重分组方法的丢包率小于标准 RAW 机制,如 400 个节点情况下较 RAW 组数为 32 时降低了 26.5%。

5 结语

将 IEEE 802.11ah 协议应用于煤矿井下无线监测传感网场景中,为降低环境变化对网络性能的影响,提出了一种基于时延优化的 RAW 重分组方法。仿真结果表明,与标准 RAW 机制相比,RAW 重分组方法显著降低了监测传感网传输时延,提高了网络吞吐量,减小了丢包率,将其应用于井下监测传感网络有利于精准、快速传输监测及报警信息,从而保障矿井安全开采。

参考文献 (References):

[1] 姚建铨,丁恩杰,张申,等.感知矿山物联网愿景与发展趋势[J].工矿自动化,2016,42(9):1-5.
YAO Jianquan, DING Enjie, ZHANG Shen, et al. Prospect of perception mine Internet of things and its development trend [J]. Industry and Mine Automation, 2016, 42(9): 1-5.

[2] 佟占生,王春明,李凯.矿井无线传感器网络设计及应用[J].工矿自动化,2017,43(8):98-100.
TONG Zhansheng, WANG Chunming, LI Kai. Design

of mine wireless sensor network and its application [J]. Industry and Mine Automation, 2017, 43 (8): 98-100.

[3] 王倩玉,陈岩,杨俊秋,等. 基于 IEEE 802.11ah 的井下安全监测传感网性能分析[J]. 工矿自动化,2019, 45(6):21-26.

WANG Qianyu, CHEN Yan, YANG Junqiu, et al. Performance analysis of underground safety monitoring wireless sensor network based on IEEE 802.11ah[J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(6):21-26.

[4] IEEE Std. 802.11ah-2016. Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications amendment 2: sub 1 GHz license exempt operation[S].

[5] 傅新星. IEEE 802.11ah MAC 层功率管理技术研究[D]. 天津:天津大学,2017.

FU Xinxing. Research on power management technology in the MAC layer of IEEE 802.11ah[D]. Tianjin: Tianjin University, 2017.

[6] CHARANIA N F, GILUKA M K, TAMMA B R, et al. DEARF: delay and energy aware RAW formation scheme to support delay sensitive M2M traffic in IEEE 802.11 ah networks[Z/OL]. arXiv Preprint, arXiv:1709.03723. [2019-12-20]. <https://arxiv.org/abs/1709.03723>.

[7] KUREEV A, BANKOV D, KHOROV E, et al. Improving efficiency of heterogeneous Wi-Fi networks with joint usage of TIM segmentation and restricted access window [C]//IEEE the 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications, Montreal, 2017:1-5.

[8] WANG Y, CHAI K K, CHEN Y, et al. Energy-delay aware restricted access window with novel retransmission for IEEE 802.11 ah networks[C]//IEEE Global Communications Conference, Washington, 2016:1-6.

[9] NAWAZ N, HAFEEZ M, ZAIDI S A R, et al. Throughput enhancement of restricted access window for uniform grouping scheme in IEEE 802.11ah[C]//IEEE International Conference on Communications, Paris, 2017:1-7.

[10] TIAN L, KHOROV E, LATRÉ S, et al. Real-time station grouping under dynamic traffic for IEEE 802.11 ah[J]. Sensors, 2017, 17(7):1559-1582.

[11] TIAN L, SANTI S, LATRÉ S, et al. Accurate sensor traffic estimation for station grouping in highly dense IEEE 802.11 ah networks[C]//Proceedings of the First ACM International Workshop on the Engineering of Reliable, Robust, and Secure Embedded Wireless Sensing Systems, New York, 2017:1-9.

[12] TIAN L, DERONNE S, LATRÉ S, et al. Implementation and validation of an IEEE 802.11 ah module for NS-3[C]//Proceedings of the Workshop on NS-3, New York, 2016:49-56.