



# 基于 Mesh 的电力无线多跳高效传输技术研究

## 摘要

针对电力无线通信网络多跳传输不可靠的问题,提出了一种基于 Mesh 的免重传的多跳高效传输技术.该技术在源节点、接收节点之间布设备份节点,设计全新的免重传协议,使得所有节点根据监听/接收到的 ACK/NACK 信息自动识别自己的下一步状态,从而在不增加任何网络信令开销的情况下,有效降低了每个数据块的平均传输总次数,提升了电力无线通信网络的深覆盖、低时延、高可靠的业务传输能力.最后通过仿真计算得出,随着误块率的增大,免重传多跳高效传输技术的平均传输总次数较传统方案得到了明显改善,即明显降低平均端到端时延,具有很好的实际应用价值.

## 关键词

多跳免重传;链式网络;高效传输;电力无线通信

中图分类号 TN925

文献标志码 A

收稿日期 2020-06-17

作者简介

陈文彬,男,工程师,主要从事电力通信技术研发工作.chenwenbin@sgtg.sgcc.com.cn

<sup>1</sup> 北京智芯微电子科技有限公司,北京,102200

## 0 引言

电力无线通信网作为电网的重要支撑和保障,是实现电网智能化运行和控制的重要基础.如何将电力无线通信网采集到的数据信息安全可靠地传输至监控中心,对电网的安全运行十分重要.当前主要使用的电力无线通信手段包括电力无线专网、无线自组织网络通信、公众移动通信等多种通信技术<sup>[1-3]</sup>.就当前的通信技术手段而言,由于其在终端设备的信息监测上仍存在大量盲区,无法完成对线路的实时状态监测与控制.

近年来,随着 5G/6G<sup>[4-6]</sup>、智能电网<sup>[7-8]</sup>、自组网技术<sup>[9]</sup>、物联网技术、D2D (Device to Device,终端直通)<sup>[10-11]</sup>等的迅速发展,以及电力物联网技术<sup>[12-14]</sup>的提出,为实现泛在电力物联网中发、输、变、配、用、调各类设备及人员全景感知、泛在接入、智能开放,具有广连接、大容量、低时延、深覆盖的电力通信网络正在得到广泛研究<sup>[15-19]</sup>.如文献[9]中对基于软件定义网络(Software Defined Network,SDN)的电力通信网络的关键技术进行了全面阐述和介绍.

同时,已有大量研究者开展了 Mesh 网络和多跳网络在电力无线网络中的应用研究<sup>[20-25]</sup>,讨论如何提升电力无线网络在线监测的传输实时性和可靠性.无线 Mesh 网络作为 MANET (Mobile ad hoc Network,移动自组网)的一种特殊形式,具有多跳网状拓扑和自组织能力.但 Mesh 的设计定位更适用于节点固定的场景,以提供高质量、稳定的网络服务为目标;MANET 则主要定位于军事、救援等应急场景,设备存在一定的移动性.因此,Mesh 更适合应用在电力无线通信方面.例如,文献[23]提出采用双链路备份方案实现高压输电线路网络的可靠覆盖;文献[24]提出通过引入接收确认、选择重传、差错控制等可靠协议设计机制提升网络的可靠性;文献[2]则基于节点间的距离、链路之间的间隔,提出了一种在现有网络中添加链路连接增强网络传输能力的策略.但上述研究首先均未充分结合实际网络特征考虑传输性能随着传输次数增加带来的性能损失,其次,很可能明显增加网络信令开销.

因此,本文将充分考虑电力无线通信网络架构典型特征,在不提升网络信令开销的前提下,研究如何提升电力无线通信网络的深覆盖、高可靠等业务的传输能力,从而满足高频次、高质量数据采集,以及泛在电力物联网全景感知和泛在接入的要求.

## 1 基于 Mesh 的传统链式多跳传输协议

### 1.1 系统模型

电力无线通信网络的主要特征为:输电线路及铁塔的分布形式为线性分布,即网络架构为链状拓扑.Mesh 网络的主要应用之一是可采用无线多跳的链路方式进行信息传递.如图 1,该链式电力无线网络中存在 7 个节点,分别表示为节点  $N_0, N_1, \dots, N_6$ ,节点之间的归一化距离为 1.数据需要从  $N_0$  传输到节点  $N_6$ .

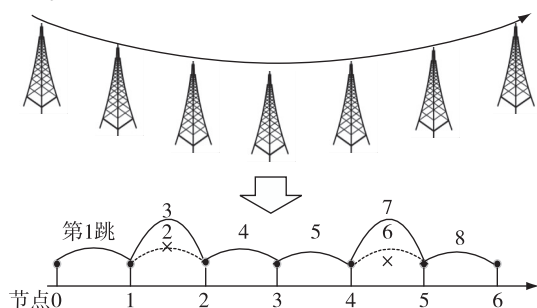


图 1 传统电力无线多跳传输系统

Fig. 1 Traditional transmission scheme of power wireless multi-hop communication network

### 1.2 传统多跳传输协议

传统链式多跳传输方式描述如下:假设每一跳传输的发送和接收节点分别为当前跳的“源节点”和“目的节点”,如果当前跳的目的节点成功接收数据时,它会向当前跳的源节点返回“ACK”确认信号,并且转变为下一跳的源节点;其后续相邻节点也能在同时收到“ACK”确认信号,并做好接收数据的准备.如果当前跳的目的节点无法成功接收数据,它将向源节点返回“NACK”信号从而请求源节点重传数据,其后续相邻节点在收到该“NACK”信号后保持原状态不变.

如图 1 中,假设数据包的平均误块率(Block Error Ratio, BLER)为 30%,即每一个数据 Block 每跳出错的概率即为 30%,因此可近似理解为每一个 Block 全程 6 跳的传输过程中平均有 2 跳会发生错误,则至少需要 8 次才能将数据从节点  $N_0$  传输至节点  $N_6$ .在第 1 跳中,节点  $N_0$  向节点  $N_1$  发送数据,节点  $N_1$  回复 ACK 表示成功接收.在第 2 跳中,节点  $N_1$  向节点  $N_2$  发送该包,但节点  $N_2$  接收失败,于是向节点  $N_1$  反馈 NACK 请求重传.因此在第 3 跳中,节点  $N_1$  将数据重传至节点  $N_2$ .在第 4 跳和第 5 跳中,节点  $N_3$  和节点  $N_4$  均成功接收了数据,第 6 跳数据传

输失败.于是第 7 跳为节点  $N_4$  继续重传数据,节点  $N_5$  成功接收.最后,在第 8 跳中,节点  $N_5$  成功将数据发送给节点  $N_6$ .综上,该数据总共经历了 8 次才由节点  $N_0$  传输到节点  $N_6$ .

传统多跳电力无线网络的优点是:路由选择方法简单,参与路由的节点数目少,各跳之间相互独立.缺点为:一旦目的节点错误接收数据,必须请求源节点重传,造成时间和功率等资源的浪费.

## 2 免重传无线多跳系统及传输协议

### 2.1 基本思路

在无线通信传输过程中,传输距离、多径衰落和信号干扰等因素都会降低包的成功接收率.自由空间传播模型下的路径损耗的计算公式<sup>[26]</sup>为

$$L_0 = 32.44 + 20 \cdot \log(f) + 20 \cdot \log(d), \quad (1)$$

式中: $f$  为工作频率(单位:MHz), $d$  为接收节点和发送节点之间的距离(单位:km).

在传输总距离一定的情况下,传统系统传输时延主要由端到端跳数和每跳的重传次数共同决定.若减小 BLER,则减小了单跳传输距离,每跳重传次数会减少,但系统端到端跳数会增加;若增大 BLER,则增大了单跳传输距离,系统端到端跳数会减小,但每跳重传次数会增大.因此端到端跳数与每跳重传次数之间存在一定的反比关系,传统传输系统的时延将在这两者之间取折中.

本文提出的方案可近似理解为免重传方案,即当接收节点无法准确接收时不必请求重传,而是由备份节点尝试向更远的目的节点发送,可大幅降低端到端的总跳数,从而大幅降低系统端到端时延,但所付出的代价是需要更多的节点参与到路由转发中来.

### 2.2 系统组成

本文所提出的新型电力无线免重传多跳传输系统,主要由源节点、目的节点和备份节点组成.备份节点是为了保证通信链路正常,存在于两座塔之间的数量不等、仅具有路由功能的路由节点.

每一跳发送数据的都是源节点,接收数据的都为目的节点,备份节点即为源节点与目的节点之间用来准确接收源节点发出的数据的节点.备份节点比目的节点离源节点更近.备份节点和目的节点之间的距离定义为“备份步长”.假设每相邻两个节点之间设有一个备份节点,每相邻两个备份节点之间也可设一个“备份-备份”节点.“备份-备份”节点是

当前跳备份节点在后续跳中的备份节点,比当前跳的备份节点距离源节点距离更短.本方案假设无论当前跳的目的节点能否正确接收数据,当前跳的备份节点均能正确接收数据.

当目的节点无法正确接收源节点发出的数据时,备份节点将代替目的节点执行目的节点的功能,即进行下一跳转发.如果当前跳的目的节点没有成功接收数据,备份节点将变为后续跳的源节点,则备份-备份节点就转变为后续跳的备份节点.如图 2 所示,其路由中存在 18 个节点,备份节点位于源节点和目的节点之间的 2/3 处,备份节点之间也存在“备份-备份”节点,位于距离下一个备份节点的 1/3 处.图 2 中,每一跳的源节点和目的节点都属于同一种类型的节点,例如,圆节点向下一个圆节点发送数据,它们之间的方型节点是备份节点;同样的,当源节点和目的节点均为三角型节点时,它们之间的黑色圆节点是备份节点.

### 2.3 传输协议

下面介绍节点之间的具体传输步骤和过程,图

3 为当前跳数据传输时各节点信令流程和工作流程示意图.当前跳的源节点发送数据后,当前跳的目的节点接收数据,同时当前跳的备份节点侦听并接收同样的数据.在此假设 ACK/NACK 都能准确接收,因为 ACK/NACK 是指示数据块传输是否正确的重要信令,所以通常情况下,通信系统会保证其传输错误率非常低.例如:在 4G/LTE 蜂窝系统中,ACK/NACK 传输的目标误码率通常设定在  $10^{-4}$  以下.另外,系统可以采用减低 MCS、重复编码、功率提升等传统技术方案对 ACK/NACK 的传输准确性进行增强和保证.

如果当前跳的目的节点正确接收数据时,当前跳的目的节点向源节点反馈 ACK 信令,当前跳的备份节点、后续跳的备份节点均能同时侦听到 ACK 信令;当前跳的目的节点转变为后续跳的源节点,当前跳的备份节点释放收到的数据,后续跳的备份节点和目的节点做好接收数据的准备.

如果当前跳的目的节点无法正确接收数据时,当前跳的目的节点向源节点反馈 NACK 信令,当前

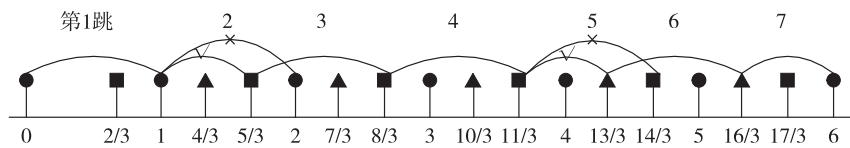


图 2 免重传电力多跳通信网络

Fig. 2 Retransmission-free scheme of power wireless multi-hop communication network

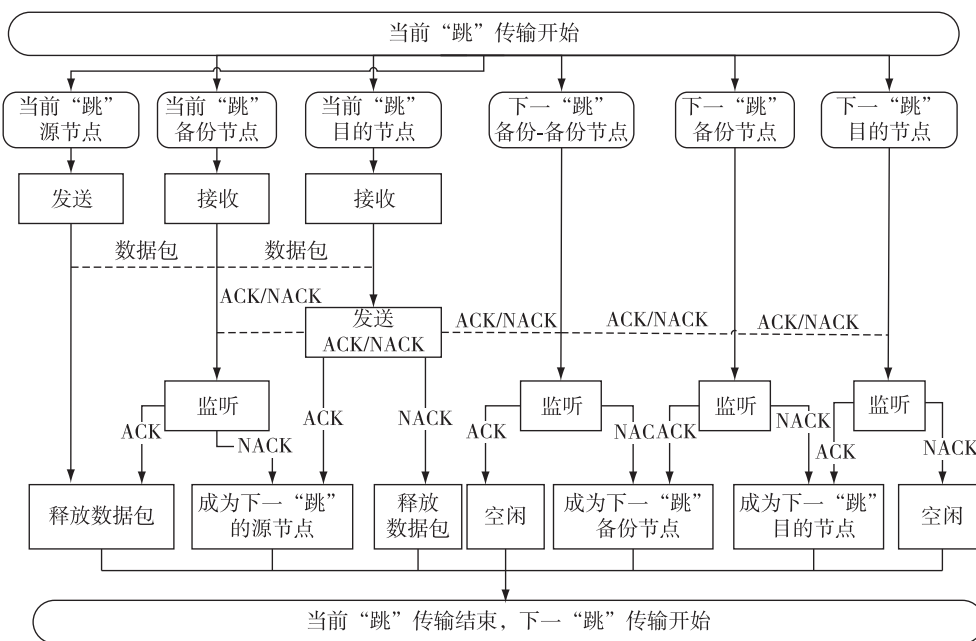


图 3 当前跳数据传输时各节点信令流程和工作流程

Fig. 3 Schematic diagram of the signaling process and workflow of each node

跳的备份节点、后续跳的备份节点均能同时侦听到 NACK 信令;当前跳的目的节点不做任何动作,当前跳的备份节点转变为后续跳的源节点,后续跳的备份节点转变为后续跳的目的节点来接收数据.

与传统方案相比,本文所提的免重传方案不会产生额外的信令开销.在目的节点接收数据后反馈 ACK/NACK 时,当前跳的备份节点、后续跳的备份节点、备份-备份节点和目的节点均要同时侦听该 ACK/NACK.假设目的节点与源节点之间的归一化距离为“1”,当目的节点向源节点反馈 ACK/NACK 时,所有距离目的节点在“1”之内的节点都可以侦听到信令,包括当前跳的源节点、备份节点、后续跳的备份节点和目的节点.因此,当这些节点侦听到 ACK/NACK 信令时,它们可以根据该信令和距离当前跳目的节点的距离自动判断并转换自己在后续跳中的角色.

### 3 性能分析

本节将重点对传统传输方案和本文所提出的免重传无线方案的平均传输次数进行性能对比分析.平均传输次数与系统端至端传输时延呈正比关系,如果平均传输次数越多,则平均端到端时延也更大.

假设  $N$  表示传统传输方案路由中存在  $N + 1$  个节点,假设每跳之间的距离为单位距离 1,因此第 1 个源节点和最后一个目的节点之间的归一化距离为  $N$ ,对应于图 1 和图 2,第 1 个节点位于坐标“0”,最后一个节点位于坐标“ $N$ ”.

假设误块率 BLER 为  $q$ ,即表示数据块出错的概率为  $q$ ,因此,若采用传统方案,每跳中数据块无差错到达接收方的概率为  $1 - q$ ,数据块第  $i$  次无差错到达接收方且前  $i - 1$  次都出错的概率为

$$P_i = (1 - q) \cdot q^{i-1}, \quad (2)$$

所以,每一跳中数据块无损坏到达接收方需要的平均发送次数为

$$E = \sum_{i=1}^{\infty} i \cdot P_i = \sum_{i=1}^{\infty} i \cdot (1 - q) \cdot q^{i-1} = (1 - q) \cdot \frac{1}{(1 - q)^2} = \frac{1}{1 - q}. \quad (3)$$

因此,采用传统方案的平均传输总次数为

$$M = N \times E = \frac{N}{(1 - q)}. \quad (4)$$

本文所提出的免重传方案的传输次数与备份节点的个数和备份步长存在紧密关系.在本文所提出的免重传系统中,假设平均传输总次数为  $Q$ ,单跳如果失败,但备份节点接收成功,则实际传输距离为

$(1 - a)$ ;如果成功,则传输距离为实际每跳距离 1(归一化距离).因此可得出如下计算:

$$Q \cdot [q \cdot (1 - a) + (1 - q)] = N. \quad (5)$$

因此,免重传系统的平均传输总次数为

$$Q = \frac{N}{1 - a \cdot q}. \quad (6)$$

根据上述分析,计算仿真得出  $N = 3$  和  $N = 10$  时传统方案和本文免重传方案的平均传输次数的比较结果如图 4 所示.图 4 中,传统传输系统的平均传输总次数随着误块率的增加呈现大幅增长,主要原因是如果传输失败的概率增加,重传次数也相应迅速增加.然而,本文所提出的免重传系统的平均重传次数并没有呈现大幅增长,因为在免重传方案中,当前跳的目的节点如果不能准确接收,但存在距离源节点更近的备份节点可以准确接收数据包.如果从单跳传输距离的角度来对比考虑,传统多跳系统每跳传输距离可能为 0;但免重传多跳系统每跳传输的距离至少为  $1 - a$ ,因此免重传系统传输总次数肯定也低于传统方案.

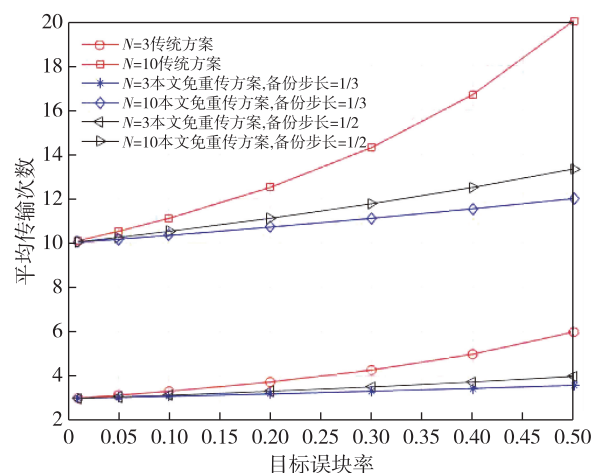


图 4  $N = 3$  和  $N = 10$  时,平均传输次数随误块率变化曲线  
Fig. 4 Change of average transmission times with block error rate when  $N = 3$  or  $N = 10$

图 5 为  $N = 10$  时,随着误块率的增加,本文所提出的免重传方案传输次数  $Q$  与传统方案传输次数  $M$  之间的比值变化(备份步长  $a$  分别设置为  $1/2, 1/3, 1/6$ ).比值越小,则说明免重传方案的次数越少,性能越优.由图 5 可知,在误块率较低时( $q < 0.2$ ),采用新方案的平均传输总次数与传统方案相比,减少的并不明显,因为在 BLER 较低的情况下,传统方案传输出错概率很低,重传次数很少;然而随着误块率的进一步增大,传统方案出错增多,重传次数增多,新

方案的优势得到明显体现.如当误块率为 0.4 时,新方案的平均传输次数仅为传统方案次数的 65%~75%.且备份步长  $a$  越小,降低的次数越多.因为备份步长越短,每跳备份节点传输的距离就越远,总次数会越少.

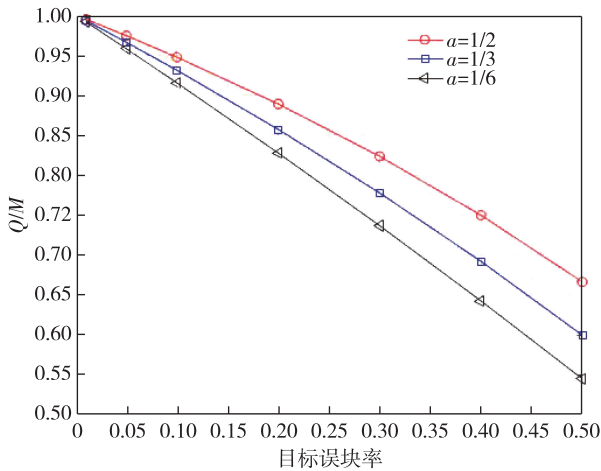


图 5 不同步长下,  $Q/M$  随误块率变化曲线 ( $N=10$ )

Fig. 5 Variation of  $Q/M$  with block error rate under different length of  $a$  ( $N=10$ )

上述分析是基于传统方案中链式多跳节点个数固定为  $N+1$  时,在直接调整每跳 BLER 情况下两种传输方案的性能对比.然而,BLER 与传输距离密切相关,单跳的传输距离又将直接影响传统方案的总跳数.因此,本文继续假定源节点与目的节点的总传输距离一定,对比分析通过改变每跳传输距离而改变 BLER 的情况下的两种方案的性能.

假设源节点与目的节点的总传输距离固定为  $D$ ,单位为 km.假设接收节点所收到的干扰一致,根据表 1 参数,进行链路仿真计算和链路损耗计算,得出传输距离与 SNR 的关系、SNR 与 BLER 的关系.基于此进一步重新仿真两种方案在传输总距离固定为 10 km 时的性能,如图 6 所示.

表 1 链路仿真参数

Table 1 Link simulation parameters

仿真参数	参数设置	仿真参数	参数设置
频率	2 GHz	采样频率	7.68 MHz
带宽	10 MHz	子载波数	512
物理层波形	OFDM	调制方式	QPSK
码率	4/5	帧长度	6 个 OFDM 符号, 0.5 ms
发射功率	30 dBm	保护间隔	16.7 $\mu$ s
信道模型	OkumuraHata 开阔区	天线高度	20 m

由图 6 可知,传统传输方案的总次数随着误块率的增加呈现先减少后增长的趋势.前期次数减少是因为单跳的传输距离在增加,总距离固定则传输总次数下降;后期次数增长是因误块率太高带来了重复传输的增多.本文免重传方案的总次数也呈现先减少后增长的趋势,但后期传输次数的增长幅度得到明显控制,因为距离源节点距离更近的备份节点可准确接收数据并转发.另外,对比图中 4 条曲线的最小值,可得出本文的免重传方案的最优性能可比传统方案的最优性能提升 10%~20%.

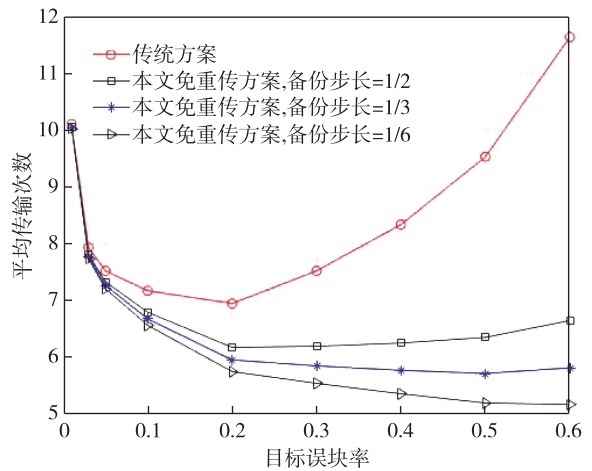


图 6 总传输距离 10 km 时,平均传输次数随误块率变化曲线

Fig. 6 Variation of average transmission times with block error rate when total transmission distance is 10 km

总之,在 BLER 较低的情况下,可通过增加单跳的传输距离,减少传输总跳数,降低端到端时延,但随着传输距离的进一步增大,BLER 将进一步增大,系统出错概率增大,传统方案重复次数增多,总跳数增加.本文所提出的免重传方案因存在距离源节点更近的备份节点准确接收数据,所以,传输总次数得到明显优化.

值得注意的是:大部分情况下,本文所述的“备份节点”可以是系统中原来已部署的节点,无需增加总节点个数与部署成本.原因在于:传统方案中,为了避免多次重传,目标 BLER 通常设置得较低,因而单跳传输距离短;而在所提方案中,容错性能较好,目标 BLER 可以设置得较高,从而单跳传输距离远,可进行“跨节点”传输,而此时“被跨过的节点”即可自动成为本文所述的“备份节点”.例如当传统方案 BLER 为 0.01 时,所述新方案单跳可设置传输两个节点,将中间节点设置为备份节点使用,即  $a$  为 1/2, BLER 也因此增大.由图 6 可知,新方案在 BLER 大

于 0.01 区间的性能明显优于传统方案在 BLER 为 0.01 时的性能。

#### 4 结束语

针对电力无线网络区域信号覆盖难、通信质量差的问题,本文所提出的基于 Mesh 的免重传电力无线多跳高效传输技术可在未增加任何网络信令开销的前提下,明显降低数据经过多跳传输所需的平均次数,进一步显著降低平均时延,提升电力在无线通信网络的实时性和可靠性,仿真试验也验证了该结论。随着当前泛在电力物联网技术、小型化低功耗技术、射频拉远技术的迅速发展,使得本文的研究具有一定的实际应用价值。

#### 参考文献

##### References

- [ 1 ] 王毅,陈启鑫,张宁,等.5G 通信与泛在电力物联网的融合:应用分析与研究展望[J].电网技术,2019,43(5):1575-1585  
WANG Yi, CHEN Qixin, ZHANG Ning, et al. Fusion of the 5G communication and the ubiquitous electric Internet of Things: application analysis and research prospects [J]. Power System Technology, 2019, 43(5): 1575-1585
- [ 2 ] 徐一鸣.面向电力物联网的通信技术研究[D].北京:华北电力大学(北京),2016  
XU Yiming. Research on the communication technology of Internet of Things in power systems [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2016
- [ 3 ] 王哲,赵宏大,朱铭霞,等.电力无线专网在泛在电力物联网中的应用[J].中国电力,2019,52(12):27-38  
WANG Zhe, ZHAO Hongda, ZHU Mingxia, et al. Application of power wireless private network in ubiquitous power Internet of Things [J]. Electric Power, 2019, 52(12): 27-38
- [ 4 ] 尤肖虎,尹浩,邬贺铨.6G 与广域物联网[J].物联网学报,2020(1):3-11  
YOU Xiaohu, YIN Hao, WU Hequan. On 6G and wide-area IoT [J]. Chinese Journal on Internet of Things, 2020(1): 3-11
- [ 5 ] 赵亚军,郁光辉,徐汉青.6G 移动通信网络:愿景、挑战与关键技术[J].中国科学(信息科学),2019,49(8):963-987  
ZHAO Yajun, YU Guanghui, XU Hanqing. 6G mobile communication networks: vision, challenges, and key technologies [J]. Scientia Sinica (Informationis), 2019, 49(8): 963-987
- [ 6 ] David K, Elmirghani J, Haas H, et al. Defining 6G: challenges and opportunities [J]. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2019, 14(3): 14-16
- [ 7 ] 何奉禄,陈佳琦,李钦豪,等.智能电网中的物联网技术应用与发展[J].电力系统保护与控制,2020,48(3):58-69  
HE Fenglu, CHEN Jiaqi, LI Qin hao, et al. Application and development of Internet of Things in smart grid [J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(3): 58-69
- [ 8 ] 耿达,杨林.智能电网技术在电网监控系统中的应用[J].通信电源技术,2020,37(1):157-158  
GENG Da, YANG Lin. Application of smart grid technology in power grid monitoring system [J]. Telecom Power Technology, 2020, 37(1): 157-158
- [ 9 ] 刘颖,段新彦,李旭.规模化无线多跳自组网性能建模与协议优化设计[J].北京交通大学学报,2019,43(2):1-8  
LIU Ying, DUAN Xinyan, LI Xu. Performance modeling and protocol optimization design of large scale wireless multi-hop Ad Hoc networks [J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2019, 43(2): 1-8
- [ 10 ] 钱志鸿,王雪.面向 5G 通信网的 D2D 技术综述[J].通信学报,2016,37(7):1-14  
QIAN Zhihong, WANG Xue. Reviews of D2D technology for 5G communication networks [J]. Journal on Communications, 2016, 37(7): 1-14
- [ 11 ] 焦岩,高月红,杨鸿文,等.D2D 技术研究现状及发展前景[J].电信工程技术与标准化,2014,27(6):83-87  
JIAO Yan, GAO Yuehong, YANG Hongwen, et al. Research situation and development prospect of D2D [J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2014, 27(6): 83-87
- [ 12 ] 刘林,祁兵,李彬,等.面向电力物联网新业务的电力通信网需求及发展趋势[J].电网技术,2020(8):3114-3130  
LIU Lin, QI Bing, LI Bin. Requirements and development trends of electric power communication network for new services in electric Internet of Things [J]. Power System Technology, 2020(8): 3114-3130
- [ 13 ] 赵萌萌,唐平舟,孙堃,等.泛在电力物联网发展与展望[J/OL].华北电力大学学报(自然科学版):1-13 [2020-06-08]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1212.TM.20200608.1440.002.html>  
ZHAO Mengmeng, TANG Pingzhou, SUN Kun. Development and prospect of the ubiquitous electric Internet of Things [J/OL]. Journal of North China Electric Power University (Natural Science Edition): 1-13 [2020-06-08]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1212.TM.20200608.1440.002.html>
- [ 14 ] 陈皓勇,李志豪,陈永波,等.基于 5G 的泛在电力物联网[J].电力系统保护与控制,2020,48(3):1-8  
CHEN Haoyong, LI Zhihao, CHEN Yongbo. Ubiquitous power internet of things based on 5G [J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(3): 1-8
- [ 15 ] Ye F, Liang Y, Zhang H, et al. Design and analysis of a wireless monitoring network for transmission lines in smart grid [J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2016, 16(10): 1209-1220
- [ 16 ] Zhu X G, Choulli E. Acquisition and communication system for condition data of transmission line of smart distribution network [J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2018, 35(4): 4107-4120
- [ 17 ] 鲍兴川,彭林.基于 SDN 的配电网通信动态带宽分配

- 算法[J].计算机应用与软件,2018,35(8):219-225  
BAO Xingchuan, PENG Lin. Dynamic bandwidth allocation algorithm for distribution network communication based on SDN[J].Computer Applications and Software,2018,35(8):219-225
- [18] 陈家璘,贺易,李磊,等.泛在电力物联网传输网优化关键技术研究[J].中国电力,2019,52(12):20-26,38  
CHEN Jialin, He Yi, LI Lei. Research on key optimization technologies for transmission network of ubiquitous power Internet of Things[J].Electric Power,2019,52(12):20-26,38
- [19] 吴路明,裘愉涛,陈琦.基于 SDN 的电力通信网络关键技术综述[J].电力工程技术,2018(3):134-144  
WU Luming, QIU Yutao, CHEN Qi. The critical technology of the electric power telecommunication based on SDN[J].Jiangsu Electrical Engineering,2018(3):134-144
- [20] 冯媛媛,易欣,赵丽.无线 Mesh 网络中基于复权马尔可夫链的安全路由协议[J].计算机应用与软件,2019,36(7):148-155  
FENG Yuanyuan, YI Xin, ZHAO Li. Secure routing protocol based on re-weighted Markov chain in wireless mesh networks[J].Computer Applications and Software,2019,36(7):148-155
- [21] 程远,韦磊,朱红.无线 Mesh 网络在输电线状态监测系统中的应用[J].电力系统通信,2012,33(7):31-34  
CHENG Yuan, WEI Lei, ZHU Hong. Application of wireless mesh network in power line status surveillance system [J]. Telecommunications for Electric Power System,2012,33(7):31-34
- [22] 孙宏彬,曹琪,刘明,等.一种基于无线 Mesh 的高压输电线路远程通信方法研究[J].信息系统工程,2019(9):129-130  
SUN Hongbin, CAO Qi, LIU Ming. Research on a long-distance communication method of high-voltage transmission line based on wireless mesh [J]. Information Technology,2019(9):129-130
- [23] 李开红,邹冬超,陈宝仁.宽带无线 Mesh 在输电线路在线监测的应用研究[J].电力信息与通信技术,2014,12(1):47-50  
LI Kaihong, ZOU Dongchao, CHEN Baoren. Applied research on the broadband wireless mesh technology for transmission line online monitoring [J]. Electric Power Information Technology,2014,12(1):47-50
- [24] 王文振.复杂环境下电力监测网无线多跳传输协议研究与实现[D].武汉:华中科技大学,2017  
WANG Wenzhen. Research and implementation of multi hop transport protocol for power monitoring network in complex environment [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology,2017
- [25] Bai Y G, Liu S Y, Zhang Z H. Effective hybrid link-adding strategy to enhance network transport efficiency for scale-free networks [J]. International Journal of Modern Physics C,2017,28(8):1750107
- [26] 康素成.无线通信系统电波覆盖定量计算仿真研究[J].计算机仿真,2019,36(9):202-205,281  
KANG Sucheng. Research on quantitative calculation of radio wave coverage in wireless communication system [J].Computer Simulation,2019,36(9):202-205,281

## Efficient multi-hop transmission for power wireless network based on mesh

CHEN Wenbin<sup>1</sup> PANG Jianmin<sup>1</sup> ZHENG Libin<sup>1</sup> LI Xinjun<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Beijing Smart Chip Microelectronics Technology Company Limited, Beijing 102200

**Abstract** With regard to the issue of unreliable multi-hop transmission in power wireless communication networks, this article proposes a retransmission-free multi-hop efficient transmission scheme based on mesh. This solution distributes device nodes between the source node and the receiving node, and designs a retransmission-free protocol, so that all nodes can automatically identify their next state based on the listened/received ACK/NACK information. The proposed method can reduce the average total number of transmissions of each data block effectively with no adding of network signaling, and improve the power wireless communication network in aspects of deep coverage, low latency, and highly reliable service transmission capabilities. Finally, it is proved through theoretical simulations that with the increase of the block error rate, the average total number of transmissions of this scheme has been significantly improved compared with traditional scheme, which effectively reduces the end-to-end average transmission time, thus the proposed scheme has good practical application prospect.

**Key words** multi-hop free-retransmission; chain network; efficient transmission; power wireless communication