



研究与开发

基于自适应哈希函数的电力线载波通信 网络终端功率控制方法

薛红, 王佳晗, 孙玉玲, 韩博, 肖羽白
(国网辽宁省电力有限公司, 辽宁 沈阳 110168)

摘要: 在对网络终端功率进行控制时, 由于网络状态动态波动, 通信网络终端功率的适应性调节能力较差, 为此, 提出了基于自适应哈希函数的电力线载波通信网络终端功率控制方法。考虑电力线载波通信网络的实际运行状态是动态波动的, 为哈希函数设置了自适应机制, 构建了自适应哈希函数, 利用自适应函数对原始的电力线载波通信网络运行状态数据进行计算后, 在可变的混沌映射系统迭代得到最终的哈希值。在电力线载波通信网络终端功率控制阶段, 计算了处于蜂窝模式时和处于设备到设备 (device-to-device, D2D) 通信模式时, 通信网络终端受到其他通信网络终端的干扰, 并将其作为自适应哈希函数的输入值, 将最终的哈希值一致作为参数调整基准, 实现了对各通信网络终端功率的控制。在测试结果中, 所提控制方法不仅有效降低了恒定通信条件下的网络终端功率上升幅度, 同时有效降低了动态通信条件下的网络终端功率输出, 具有较高的适应性调节能力。

关键词: 自适应哈希函数; 电力线载波通信网络; 终端功率; 自适应机制; 混沌映射; 蜂窝模式; D2D 模式
中图分类号: TN911.5

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2023192

Terminal power control method of power line carrier communication network based on adaptive hash function

XUE Hong, WANG Jiahua, SUN Yuling, HAN Bo, XIAO Yubai
State Grid Liaoning Electric Power Co., Ltd., Shenyang 110168, China

Abstract: In the control of network terminal power, due to the overall low analysis of network state, the adaptive regulation ability of communication network terminal power is poor. Therefore, the power line carrier communication network terminal power control method based on adaptive hash function was proposed. Considering the dynamic fluctuation of the actual operating state of the power line carrier communication network, the adaptive mechanism was set for the hash function, and the adaptive hash function was constructed for the original running state data, and the final hash value was obtained in the variable chaotic mapping system. In the power control stage of the power line carrier communication network terminal, the communication network terminal was affected by the interference of other communication network terminals, and it was used as the input value of the adaptive hash function to realize the power control of each communication network terminal. In the test results, the proposed control method not only ef-



fectively reduces the increase range of network terminal power under constant communication conditions, but also effectively reduces the network terminal power output under dynamic communication conditions, which has a high adaptive adjustment ability.

Key words: adaptive hash function, power line carrier communication network, terminal power, adaptive mechanism, multi-chaos mapping, cellular mode, D2D mode

0 引言

电力线路覆盖范围广泛,通过电力线路进行通信,可以在任何有电力供应的地方进行数据传输,从而实现全网覆盖。电力线通信是一种利用电力线路进行数据传输的技术,可以在不需要铺设额外通信线路的情况下实现宽带通信。电力线通信系统中,多个终端共享同一条电力线路进行数据传输,终端之间发送的信号可能会相互干扰。这种干扰可能来自其他邻近电力设备、电磁干扰源以及其他终端的信号。当终端功率过高时,对周围终端和其他设备可能产生较大的电磁干扰,影响通信系统的传输质量,为此,进行电力线载波通信网络终端功率控制。

在电力线载波通信网络终端功率控制的相关研究中,文献[4]提出了一种以实时中间流估计(real-time intermediate flow estimation, RIFE)算法为基础的网络功率优化控制方法,构建了水动力模型和直线电机模型,以此研究电路共振状态,从而设置最优功率捕获条件。通过 RIFE 算法获取波浪主导激励分量,利用神经网络控制波浪发电系统功率。然而该方法对于通信场景变化的适应能力较差。文献[5]提出了一种以非合作博弈为基础的网络功率控制方法。在非合作博弈的基础上,构建分布式雷达网络功率分配模型。以此设计一种迭代功率分配算法,对该模型求解,实现功率控制。但该方法的稳定性较低,受客观环境的影响较为明显。

为此,本文提出一种以自适应哈希函数为基础的电力线载波通信网络终端功率控制方法。构建自适应哈希函数,提高自适应性,由

此计算原始网络运行状态,将其输入可变的混沌映射系统中,迭代得到最终的哈希值。将通信网络终端干扰情况输入自适应哈希函数,根据最终的哈希值进行调整,提高终端功率控制效果。并在分析设计网络终端功率控制方法应用效果的过程中,开展了对比测试,对其性能作出全面、客观的分析。

1 电力线载波通信网络终端功率控制方法设计

1.1 自适应哈希函数构建

为了能够实现对电力线载波通信网络终端功率的有效控制,本文在具体的控制过程中引入了安全哈希函数(security hash function, SHF)^[6-7]。考虑电力线载波通信网络的实际运行状态是动态波动的,因此,本文为哈希函数设置了自适应机制^[8],构建了自适应哈希函数,以此确保利用其对电力线载波通信网络终端功率进行控制时,能够结合实际情况进行合理控制^[9]。

在具体的设计过程中,本文主要围绕 4 个核心目标进行构建:在较少的步数之后,哈希函数便可达到完全扩散的效果;在哈希函数中引入函数随机化的思想,通过消息确定函数的具体形式^[10];哈希函数在限制条件的作用下能够对攻击对参数的自由度进行修改和调整;在消息计算过程中引入参数可变混沌映射关系,以增强哈希函数的雪崩性^[11]。

结合上述 4 个核心目标,本文构建的自适应哈希函数流程如图 1 所示。

结合图 1 可以看出,在本文设计的自适应哈希函数中,在一定程度上借鉴了 IDEA(IntelliJ IDEA)的设计理念^[12]。其中,对移动平均(moving

average, MA) 结构进行改进并引入设计当中的主要目的是使自适应哈希函数的快速扩散能力得到进一步提升。在每一轮自适应过程中, f 表示自适应函数, f 的具体形式主要取决于中间变量值 X ; 在电力线载波通信网络终端功率控制过程中, 中间变量值 X 包括影响网络终端功率的所有参数, 而中间变量值 X 的来源主要由消息计算得到; k 和 w 分别表示常量和 32 位的消息。通过自适应函数对原始的电力线载波通信网络运行状态数据进行计算后, 得到 256 位的值, 将其作为混沌映射的初始值, 输入可变多混沌映射系统中, 经过 n (n 值取决于原始电力线载波通信网络运行状态数据和网络终端功率控制精度要求) 次迭代得到最终的哈希值。

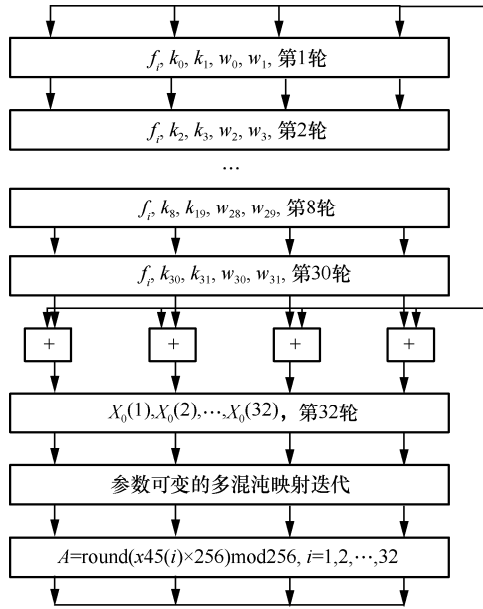


图1 自适应哈希函数流程

上述方式可以实现对自适应哈希函数的构建, 为后续的电力线载波通信网络终端功率控制提供执行基础。

1.2 基于自适应哈希函数的电力线载波通信网络终端功率控制

结合第 1.1 节构建的自适应哈希函数, 本文在控制电力线载波通信网络终端功率阶段, 假设电

力线载波通信网络中总共有 L 个通信网络终端。

其中, 本地通信概率 p_{local} , 则本地通信网络终端数为 $|Lp_{\text{local}}|$, $|Lp_{\text{local}}|$ 的取值结果主要受 p_{local} 以及网络覆盖范围影响, 最多可以形成 $\frac{|Lp_{\text{local}}|}{2}$ 个

设备到设备 (device-to-device, D2D) 对。需要注意的是, $\frac{|Lp_{\text{local}}|}{2}$ 在分布上不具有固定特征和属性

要求。在此基础上, 本文对通信网络终端的编号进行定义, 将其表示为 $i, j (1 \leq i, j \leq L)$, 对应的通信模式向量表示为 $\mathbf{m}$, 对应的维数为 $L \times 1$ 。在此基础上, 当 $m_i = 1$ 时, 表示此时电力线载波通信网络的工作模式为蜂窝模式; 当 $m_i = 0$ 时, 表示此时电力线载波通信网络的工作模式为 D2D 模式。通信网络终端对工作在时分双工 (time division duplexing, TDD) 模式下的激活状态表示为 $\mathbf{a}(t)$, 那么, 电力线载波通信网络终端功率的奇数时隙 $\mathbf{a}(t)^s$ 可以表示为:

$$\mathbf{a}(t)^s = (1 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad \dots)^T \quad (1)$$

电力线载波通信网络终端功率的偶数时隙 $\mathbf{a}(t)^d$ 可以表示为:

$$\mathbf{a}(t)^d = (0 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad \dots)^T \quad (2)$$

当电力线载波通信网络处于蜂窝模式时, 通信网络终端受到其他通信网络终端的干扰可以表示为 $L \times L$ 的矩阵, 具体为:

$$\Phi_{ij} = \begin{cases} 0, & i = j \\ \frac{\beta_c \gamma_j}{g_c \gamma_i}, & i \neq j \end{cases} \quad (3)$$

其中, Φ_{ij} 表示当电力线载波通信网络处于蜂窝模式时, 通信网络终端受到其他通信网络终端的干扰矩阵; β_c 表示电力线载波通信网络传输链路的信噪比下限; g_c 表示蜂窝通信网络终端的处理增益; γ_j 和 γ_i 分别表示电力线载波通信网络链路增益。

当电力线载波通信网络处于 D2D 模式时, 通信网络终端受到其他通信网络终端的干扰同样可以表示为 $L \times L$ 的矩阵, 具体为:



$$\boldsymbol{\theta}_{ij} = \begin{cases} \kappa \frac{|Lp_{\text{local}}|}{2}, i=j \\ \frac{\beta_d \gamma_j}{g_d \gamma_{i+1}}, i \neq j, i \text{ 为奇数} \\ \frac{\beta_d \gamma_j}{g_d \gamma_{i-1}}, i \neq j, i \text{ 为偶数} \end{cases} \quad (4)$$

其中, $\boldsymbol{\theta}_{ij}$ 表示当电力线载波通信网络处于 D2D 模式时, 通信网络终端受到其他通信网络终端的干扰矩阵; β_d 表示电力线载波通信网络传输链路的信噪比上限; g_d 表示 D2D 通信网络中对应终端的处理增益; κ 表示电力线载波通信网络终端 D2D 对之间的自干扰系数。

在此基础上, 将对应的通信网络终端的干扰作为第 1.1 节构建自适应哈希函数的输入参数, 当输出结果的哈希值一致时, 即电力线载波通信网络终端功率的控制结果, 其可以表示为:

$$X(t) = \mathbf{m}(\boldsymbol{\Phi} \mathbf{m} + \boldsymbol{\Phi} A(t) - \boldsymbol{\Phi} \mathbf{m} A(t)) + A(t)(\boldsymbol{\Theta} \mathbf{m} + \boldsymbol{\Theta} A(t) - \boldsymbol{\Theta} \mathbf{m} A(t)) \quad (5)$$

其中, $X(t)$ 表示最终的控制结果。

上述方式可以实现对电力线载波通信网络终端功率的有效控制, 使其能够结合实际的电力线载波通信网络运行状态, 对终端功率进行自适应控制调节, 降低功率开销。

2 测试与分析

2.1 测试环境

在测试阶段, 本文以某实际的低压配电网配置情况为基础开展了对比测试。

其中, 电力载波通信网络主要包括主站、集中器和电表模块 3 个部分。每一个变压器都配置有一个三相供电网络, 在对三相的所有节点进行管理时通过一台集中器进行测试。测试过程中的数据集市 (data mart, DM) 节点为集中器所在的位置, 三相网络在集中器的组织和管理下, 借助无线数据网络建立与主站之间的通信关系。电力载波通信网络中的电表模块主要为载波子节点具

有数量众多的特点, 并且在电线上的分布方式是以并联的形式存在的。同样地, 它也受集中器的管辖, 在整体结构分布上, 呈现出多分支树状形态。在上述物理结构下, 对于每个子节点而言, 仅可以与一相供电线路建立并联的连接关系。借助上述结构设置方式, 载波通信网络的三相之间以相对独立的形式运行, 并且运行模式保持一致。在测试过程中, 设置的通信区域范围为 200 m×200 m, 具体线载波通信网络的测试环境节点设置见表 1。

表 1 测试环境节点设置

参数	配置
DM 节点数量/个	1
子节点数量/个	80
可转发节点数量/个	4
最大通信距离/m	100
电线增益/dB	10
最大发射功率/mW	200
信道带宽/kHz	180

以表 1 所示的参数设置情况为基础, 本文在构建线载波通信网络分簇结构时, 以物理拓扑为基础, 具体的线载波通信网络分簇结构如图 2 所示。

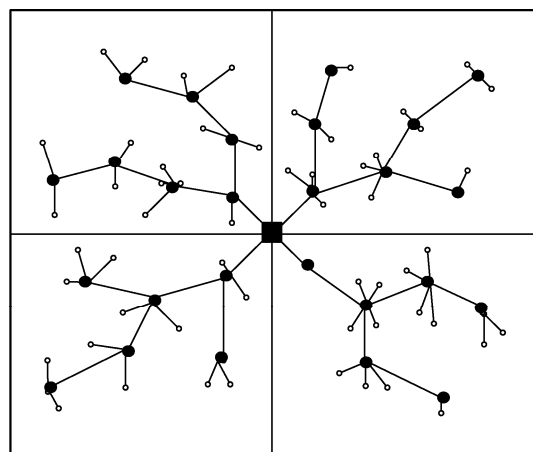


图 2 线载波通信网络分簇结构

在图 2 中, 位于区域中心点的黑色方块表示+电力线载波通信网络的 DM 节点, 同时为了最大限度还原电力线分支结构的特点, 以 DM 所在放

置为基础将整个区域划分为 4 个子区域，对应每个子区域包含一条大的分支以及若干条子分支，且子节点均匀分布在各个子区域内。

2.2 测试方案

在测试过程中，除了本文设计的基于自适应哈希函数的电力线载波通信网络终端功率控制方法外，还设置了文献[4]提出的以 RIFE 算法为基础的网络功率优化控制方法、文献[5]提出的以非合作博弈为基础的网络功率控制方法在相同的测试环境下的对比测试。

考虑在不同的通信场景下，相关的参数信息也不同，而这种参数的变化也是导致电力线载波通信网络终端功率难以得到有效控制的最主要原因。为此，本文以通信概率、信噪比为变量，设置了 3 种不同的通信场景，测试场景设置见表 2。

表 2 测试场景设置

场景编号	通信概率	信噪比/dB
1	0.2	2
2	0.2	4
3	0.4	2

结合表 2 所示的 3 种通信场景，分别测试在不同控制方法下，电力线载波通信网络终端的功率输出发展情况。

2.3 测试结果与分析

将本文方法应用于区域 1~区域 5 的电力线载波通信网络中，应用前后的数据对比见表 3。

表 3 应用前后的数据对比

区域	功率输出/W		信噪比/dB	
	应用前	应用后	应用前	应用后
1	100	80	13	20
2	156	132	10	18
3	120	105	15	22
4	142	138	16	24
5	118	100	14	21

根据表 3 数据可知，应用本文方法后，区域 1~区域 5 的终端功率均得到了控制，同时信噪比增

加，具有较好的应用效果。

结合第 1.1 节设置的电力线载波通信网络结构，以及第 2.2 节构建的测试场景，本文分别统计了不同方法对电力线载波通信网络终端的控制效果。场景 1 下电力线载波通信网络终端功率输出情况对比如图 3 所示。

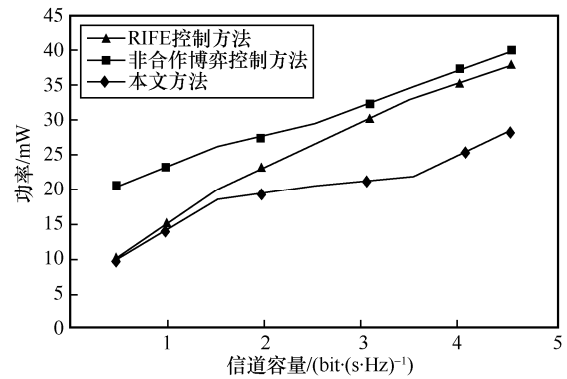


图 3 场景 1 下电力线载波通信网络终端功率输出情况对比

结合图 3 所示的场景 1 下电力线载波通信网络终端功率控制测试结果可以看出，在 3 种不同的测试方法中，对应的控制效果表现出了较为明显的差异。

其中，在 RIFE 控制算法下，电力线载波通信网络终端功率输出随着通信信道容量的增加呈现出稳定增加的发展趋势，当通信信道容量为 1 bit/(s·Hz)时，对应的电力线载波通信网络终端功率为 10.16 mW，但是当通信信道容量为 5 bit/(s·Hz)时，对应的电力线载波通信网络终端功率达到了 38.2 mW，增长幅度达到了 28.04 mW。在非合作博弈控制方法下，电力线载波通信网络终端功率输出也同样随着通信信道容量的增加稳定增长，虽然其增长趋势（幅度）与 RIFE 控制算法相比更加平缓，当通信信道容量为 1 bit/(s·Hz)时，对应的电力线载波通信网络终端功率为 21.12 mW，但是当通信信道容量为 5 bit/(s·Hz)时，对应的电力线载波通信网络终端功率达到了 40.02 mW，增长幅度达到了 18.9 mW，但是其整体功率水平始终处于较高的



状态。相比之下,在本文方法的测试结果中,当通信信道容量为 $1 \text{ bit}/(\text{s}\cdot\text{Hz})$ 时,对应的电力线载波通信网络终端功率为 10.10 mW ,但是当通信信道容量为 $5 \text{ bit}/(\text{s}\cdot\text{Hz})$ 时,对应的电力线载波通信网络终端功率达到了 29.33 mW ,增长幅度仅为 19.23 mW ,且整体功率始终稳定在 30 mW 以内,处于较低水平。

场景 2 下电力线载波通信网络终端功率输出情况对比如图 4 所示。

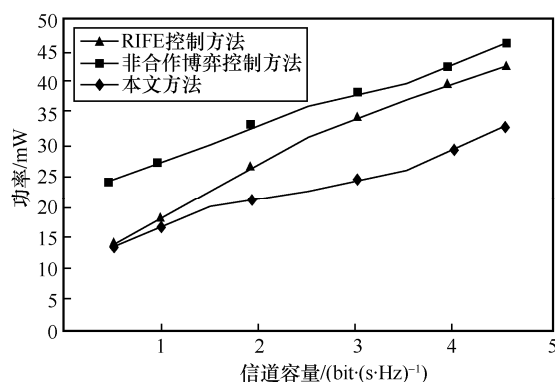


图 4 场景 2 下电力线载波通信网络终端功率输出情况对比

结合图 4 所示的场景 2 下电力线载波通信网络终端功率控制测试结果可以看出,在 3 种不同的测试方法中,对应的控制效果表现出了与场景 1 测试结果相近的特点,当通信信道容量为 $1 \text{ bit}/(\text{s}\cdot\text{Hz})$ 时,RIFE 控制算法下的电力线载波通信网络终端功率输出为 13.6 mW ,非合作博弈控制方法下的电力线载波通信网络终端功率输出为 24.2 mW ,本文方法的功率输出仅为 13.56 mW ,分别低于对照组 0.04 mW 和 10.64 mW 。当通信信道容量为 $5 \text{ bit}/(\text{s}\cdot\text{Hz})$ 时,RIFE 控制算法下的电力线载波通信网络终端功率输出为 42.59 mW ,非合作博弈控制方法下的电力线载波通信网络终端功率输出为 46.2 mW ,本文方法的功率输出仅为 33.01 mW ,不仅始终稳定在 35 mW 以内,且与对照组相比,分别下降了 9.58 mW 和 13.19 mW ,具有良好的控制效果。

场景 3 下电力线载波通信网络终端功率输出情况对比如图 5 所示。

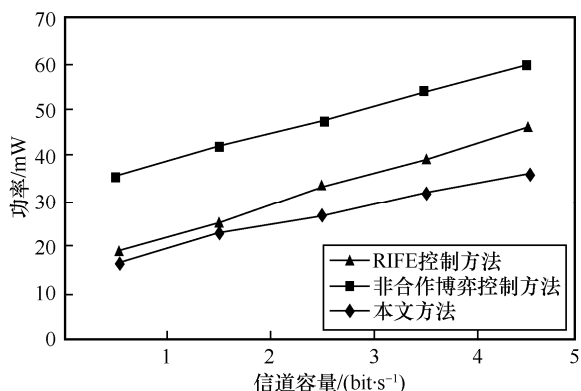


图 5 场景 3 下电力线载波通信网络终端功率输出情况对比

结合图 5 所示的场景 3 下电力线载波通信网络终端功率控制测试结果,对在 3 种不同测试方法对应的功率控制效果进行分析,在整体上,它与场景 1 和场景 2 的测试结果特征基本一致。

其中,当通信信道容量为 $1 \text{ bit}/(\text{s}\cdot\text{Hz})$ 时,RIFE 控制算法和非合作博弈控制方法下的电力线载波通信网络终端功率输出分别为 19.8 mW 和 35.66 mW ,而本文方法的功率输出仅为 16.69 mW ,与对照组相比分别下降了 3.11 mW 和 18.97 mW 。当通信信道容量为 $5 \text{ bit}/(\text{s}\cdot\text{Hz})$ 时,RIFE 控制算法和非合作博弈控制方法下的电力线载波通信网络终端功率输出分别为 46.27 mW 和 60.15 mW ,相比之下,本文方法的功率输出仅为 35.95 mW ,仍稳定在 40 mW 以内,与对照组相比,分别下降 10.35 mW 和 24.23 mW 。

综合上述测试结果可以得出如下结论。

(1) 本文设计的基于自适应哈希函数的电力线载波通信网络终端功率控制方法可以有效降低恒定通信条件下的网络终端功率上升幅度。

(2) 本文设计的基于自适应哈希函数的电力线载波通信网络终端功率控制方法可以有效降低动态通信条件下的网络终端功率输出。

3 结束语

面对当前的电力线载波通信网络发展过程中存在的诸多优化问题, 终端功率控制技术作为立足通信网络本身的内容之一, 无论是于对解决当下电力线载波通信网络发展面临的困境而言, 还是对于未来通信系统的融合发展而言, 都具有十分可观的应用前景。本文提出的基于自适应哈希函数的电力线载波通信网络终端功率控制方法, 切实降低了电力线载波通信网络终端在不同运行场景下的功率输出, 对于电力线载波通信网络效率的提升以及通信价值的体现都有极为重要的现实意义和指导价值。

参考文献:

- [1] 时晨光, 唐志诚, 丁琳涛, 等. 非理想检测下面向异步多目标跟踪的异构多雷达网络功率时间联合优化算法[J]. 雷达学报, 2023, 12(3): 563-575.
SHI C G, TANG Z C, DING L T, et al. Joint optimization of transmit power and dwell time for asynchronous multi-target tracking in heterogeneous multiple radar networks with imperfect detection[J]. Journal of Radars, 2023, 12(3): 563-575.
- [2] 时晨光, 唐志诚, 周建江. 非理想检测下基于多目标跟踪的多雷达网络功率时间管控算法[J]. 无人系统技术, 2023(2): 42-51.
SHI C G, TANG Z C, ZHOU J J. Multi-target tracking-based joint power and dwell time allocation in multiple radar networks with non-ideal detection performance[J]. Unmanned Systems Technology, 2023(2): 42-51.
- [3] 王徐来, 向广利, 李蓓蕾, 等. 基于组合随机性特征的哈希函数识别方案[J]. 武汉大学学报(理学版), 2023, 69(2): 215-222.
WANG X L, XIANG G L, LI B L, et al. Hash function recognition scheme based on combinatorial randomness feature[J]. Journal of Wuhan University (Natural Science Edition), 2023, 69(2): 215-222.
- [4] 林汇金, 杨俊华, 邱孟, 等. 基于 RIFE 法的波浪发电 RBF 神经网络功率优化控制[J]. 太阳能学报, 2022, 43(10): 364-370.
LIN H J, YANG J H, QIU M, et al. Optimal power control of rbf neural network strategy for wave power generation system based on rife algorithm[J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2022, 43(10): 364-370.
- [5] 代向荣, 时晨光, 周建江. 基于非合作博弈的分布式正交频分复用雷达网络功率分配算法[J]. 战术导弹技术, 2022(5): 1-11.
DAI X R, SHI C G, ZHOU J J. Power allocation algorithm for distributed OFDM radar networks based on non-cooperative game theory[J]. Tactical Missile Technology, 2022(5): 1-11.
- [6] 郭克锋, 李成, 常淑桂. 下行链路 NOMA 中继网络功率分配策略及性能分析[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2022, 37(3): 95-103.
GUO K F, LI C, CHANG S G. Power allocation strategy and performance analysis of downlink NOMA relay networks[J]. Journal of Hunan University of Science & Technology (Natural Science Edition), 2022, 37(3): 95-103.
- [7] 许笑微, 史孝华, 石芳, 等. 功率联合受限的两跳协作全双工中继网络功率分配[J]. 流体测量与控制, 2022(2): 16-19.
XU X W, SHI X H, SHI F, et al. The research on power allocation for dual-hop cooperative full-duplex relay network with joint power limited[J]. Fluid Measurement & Control, 2022(2): 16-19.
- [8] 陶亮, 查晓明, 田震, 等. 时变幅频电势激励下基于贝塞尔函数的电力网络建模及其功率传输特性分析[J]. 中国电机工程学报, 2022, 42(16): 6028-6041+6177.
TAO L, ZHA X M, TIAN Z, et al. Bessel function based modeling and power transmission characteristics analysis of power networks excited with time-varying amplitude-frequency potentials[J]. Proceedings of the CSEE, 2022, 42(16): 6028-6041+6177.
- [9] 李莉, 魏宗博, 路晨贺, 等. 基于节点位置的水声传感器网络功率控制 MAC 协议[J]. 无线电工程, 2021, 51(11): 1238-1244.
LI L, WEI Z B, LU C H, et al. MAC protocol for power control of underwater acoustic sensor network based on node location[J]. Radio Engineering, 2021, 51(11): 1238-1244.
- [10] 冯维, 雷灿, 吴端坡, 等. 基于物理层安全的无线网络功率分配算法设计与仿真[J]. 实验室研究与探索, 2021, 40(10): 112-116.
FENG W, LEI C, WU D P, et al. Design and simulation of power allocation algorithm based on physical layer security for wireless networks[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2021, 40(10): 112-116.
- [11] 高伟, 陈利群, 唐春明, 等. 一次变色龙哈希函数及其在可



修正区块链中的应用[J]. 计算机研究与发展, 2021, 58(10): 2310-2318.

GAO W, CHEN L Q, TANG C M, et al. One-time chameleon hash function and its application in redactable blockchain[J]. Journal of Computer Research and Development, 2021, 58(10): 2310-2318.

- [12] 卫宏儒, 黄靖怡. SOTS: 一个基于哈希函数更短的后量子数字签名方案[J]. 计算机研究与发展, 2021, 58(10): 2300-2309.
- WEI H R, HUANG J Y. SOTS: a hash function-based shorter post-quantum digital signature scheme[J]. Journal of Computer Research and Development, 2021, 58(10): 2300-2309.

[作者简介]



薛红 (1977-), 女, 国网辽宁省电力有限公司高级工程师, 主要从事电能计量、需求侧管理、电力信息化等工作。



王佳晗 (1990-), 女, 国网辽宁省电力有限公司工程师, 主要研究方向为计量器具检定检测、需求侧管理和电力信息化。



孙玉玲 (1971-), 女, 国网辽宁省电力有限公司工程师, 主要从事电能计量和电力信息化工作。

韩博 (1996-), 男, 国网辽宁省电力有限公司助理工程师, 主要研究方向为电能计量器具检定检测和电力信息化。

肖羽白 (1992-), 女, 国网辽宁省电力有限公司工程师, 主要研究方向为计量器具检定检测、资产配送管理和电力信息化。