

基于智能寻径机制的 WSN 传输路径稳定算法

程 龙

(恩施土家族苗族自治州中心医院, 湖北 恩施 445000)

摘要: 针对无线传感网部署过程中存在的网络路径抖动难以抑制以及备用节点易出现能量受限现象等不足, 提出了一种基于智能寻径机制的 WSN 传输路径稳定算法; 首先, 鉴于传统机制单一选取参数存在的局限性, 综合考虑节点剩余能量、传输散射角度等多因子, 智能搜寻较为稳定的传输链路, 设计了基于能量-角度刺激机制的区域路径收敛方法, 该方法综合考虑备用节点能量剩余及传输过程中易出现的抖动因素, 通过引入散射迭代方式来增强节点在能量失效情况下的寻径效果, 以降低因备用节点选取不当而导致的大面积重传输现象, 增强传输路径的抗抖动能力, 达到智能寻径的效果; 随后, 基于动量优化机制, 采取按序筛选方式优化备用节点, 以规避因备用节点受限而导致传输链路抖动, 以改善传输路径稳定性能; 仿真实验表明: 与当前常用的基于能量管理及路径优化机制的 WSN 传输路径稳定算法和基于概率贪心机制的 3 维 WSN 传输路径稳定算法相比, 所提算法具有更强的的路径抗抖能力和更高的网络传输带宽。

关键词: 无线传感网; 区域路径收敛; 能量失效; 重传输

WSN Transmission Path Stabilization Algorithm Based On Intelligent Routing Mechanism

CHENG Long

(The Central Hospital of Enshi Tujia and Miao Autonomous Prefecture, Enshi 445000, China)

Abstract: In order to solve the problems existing in the deployment of wireless sensor networks, such as network path jitter is difficult to suppress, transmission performance is difficult to improve, and standby nodes are prone to energy constraints, a WSN transmission path stabilization algorithm based on intelligent routing mechanism is proposed. Firstly, in view of the limitations of single parameter selection in the traditional mechanism, comprehensively considering the multi factors such as node residual energy and transmission scattering angle, intelligently search for a more stable transmission link, and design a regional path convergence method based on energy angle stimulation mechanism. This method comprehensively considers the energy surplus of standby nodes and the jitter factors prone to occur in the transmission process. The scattering iteration method is introduced to enhance the routing effect of nodes in the case of energy failure, so as to reduce the large-area retransmission phenomenon caused by improper selection of standby nodes, enhance the anti jitter ability of transmission path and achieve the effect of intelligent routing. Then, based on the momentum optimization mechanism, the standby node is optimized by sequential screening to avoid the transmission link jitter caused by the limitation of the standby node, so as to improve the stability of the transmission path. Simulation results show that compared with the commonly used WSN transmission path stabilization algorithm based on energy management and path optimization mechanism and the three-dimensional WSN transmission path stabilization algorithm based on probabilistic greedy mechanism, the proposed algorithm has stronger path anti chattering ability, higher network transmission bandwidth.

Keywords: wireless sensor network; regional path convergence; energy failure; retransmission

0 引言

无线传感网 (WSN, wireless sensor network) 作为近年来国家主推的制造业核心升级技术之一, 正在

新冠疫情防控、制造链升级、区块链技术等新产业前沿领域进行深度融合^[1]。无线传感网在部署过程中需要采取预部署模型, 将工业化制式节点散布在一定的

收稿日期: 2021-10-24; 修回日期: 2021-11-24。

作者简介: 程 龙 (1989-), 男, 湖北恩施人, 大学本科, 主要从事计算机科学与技术、计算机网络应用方向的研究。

引用格式: 程 龙. 基于智能寻径机制的 WSN 传输路径稳定算法[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(1): 215-220.

地理区域内并形成采集—汇聚结构,网络工作时将受到 sink 节点的控制^[2-3]。一般而言,制式节点采取电池供电,因此可适用于各种较为复杂的部署环境。不过,由于无线传感节点的能量消耗较高时,节点工作将受到严重的影响,使得数据采集及汇聚出现抖动现象^[4-5]。

为解决无线传感网在能量消耗较高时出现的传输抖动现象,研究者提出了一些传输路径稳定方案,可起到稳定数据传输的效果^[6]。文献 [7] 基于聚类机制,提出了一种可降低传输抖动的 WSN 传输路径稳定算法,其采取聚类方案对传输路径予以聚合,传输路径出现抖动时将从聚类中切换出一条可达路径,因而具有传输路径搜寻效率较高的特点,数据稳定传输性能较强。但是,该算法需要花费较多时间对可达路径进行搜寻,网络数据传输较高时将会出现较为严重的拥塞现象,降低了算法的适用性能。文献 [8] 采取广播机制,提出了一种基于路由重构方案的 WSN 传输路径稳定算法,通过广播 Hello 数据报文对路径予以搜寻,结合拥塞缓存控制方式对路径予以优化,能显著降低节点能耗,传输路径较为稳定。然而,由于该算法需要对全网节点进行一一遍历,使其复杂度较高,使得算法在数据报文数量较多时难以进一步提升稳定性能。文献 [9] 基于节点更新机制,提出了一种可显著降低算法复杂度的 WSN 传输路径稳定算法,算法将承担数据传输任务的中继节点予以备份,并在中继节点失效前及时选取具有稳定传输性能的节点作为下一任节点,显著提高了网络链路的抗抖性能,具有路径较为稳定的特点。但是,该算法在节点处于移动状态时同样具有节点衰减较快的特点,易发生区域性传输抖动现象,对部署环境的要求较高。

为了解决上述问题,提出了一种基于智能寻径机制的 WSN 传输路径稳定算法。首先,采用备用模式并结合能量、角度等因子提升网络对抖动现象的抑制能力,降低因备用节点选取不当而导致的区域瘫痪现象,稳定网络传输性能。随后,为进一步提升备用节点有效性,采取动量优化模型对备用节点予以筛选,及时消除能量性能不佳的备用节点,进一步优化网络传输路径。最终采取 MATLAB 仿真实验环境,证明了本文算法的性能。

1 本文 WSN 传输路径稳定算法

针对传统研究中存在的路径稳定性与传输稳定性难以兼容的不足,特别是路径在传输稳定过程中收敛

性不强的问题,本文设计了一种新的基于智能寻径机制的 WSN 传输路径稳定算法。该算法主要由两部分构成:①基于能量—角度刺激机制的区域路径收敛方法。该方法主要兼顾能量及传输角度优化链路,解决因能量受限而导致链路抖动的问题。②基于动量优化机制的路径集约方法。该方法主要采取随机方式对中继节点能量消耗予以优化,降低路径因能量受限而出现抖动。详细设计如下。

1.1 基于能量—角度刺激机制的区域路径收敛

采用随机布撒模型将无线传感网节点布置于矩形区域中,见图 1,另设任意节点能量及处理能力均等价。sink 节点被放置于中心位置,任意节点均可以特定通信加密信道与 sink 节点进行交互。sink 节点统一对区域内节点及拓扑予以调度。此外,无线传感节点处于自组模式,将能够随时与 sink 节点进行数据通信,从而便于网络完成数据自组织过程,增强网络节点对区域的传感能力。

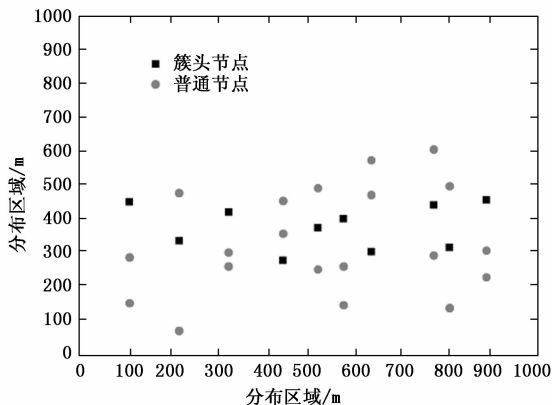


图 1 无线传感网节点分布图

此外,无线传感网满足如下假设:

- 1) 各节点间均可以自组织方式成网, sink 节点仅起管理作用,并对网络数据流量进行调度
- 2) sink 节点处于核心节点地位,可通过无线信道对节点予以充能。
- 3) 无线传感网络遵循时变特性,需要定时休眠以确保网络可安全平稳运行。

由于制式节点易出现聚类现象^[10-11],节点在数据传输过程中一般会根据路径使用强度优先筛选被多个节点共享的路径^[12-13],因此本文算法主要采取能量激励方式,兼顾传输角度因素,设计了区域路径收敛方法如下。

Step 1: 网络中节点个数为 N ,处于热点状态的

节点个数为 M , 第 i 号节点为第 i 个处于热点状态的节点。由于热点的能量消耗较高, 易出现抖动, 因此首先对第 i 号节点进行刺激, 以便尽量防止该节点处于抖动状态。刺激开始时, 第 i 号节点将自身一跳范围内的能量剩余最高的节点作为备用节点, 见图 2, 刺激方式如下:

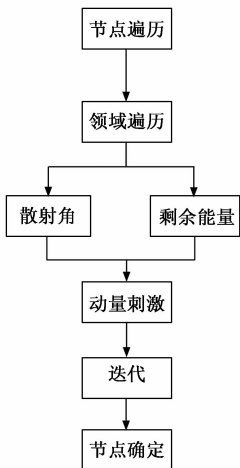


图 2 基于能量-角度刺激机制的区域路径收敛方法

$$Ri(k, t) = \frac{[\alpha i(t)]^a [\beta i(t)]^b}{\sum_{j=i}^k [\alpha j(t)]^a [\beta j(t)]^b} \quad (1)$$

其中: $Ri(k, t)$ 表示第 i 号节点在第 k 次刺激过程中可搜寻到备用节点的概率, $\alpha i(t)$ 表示 t 时刻第 i 号节点的能量剩余, $\beta i(t)$ 表示 t 时刻第 i 号节点的覆盖半径。 $\alpha j(t)$ 表示第 k 次搜寻时第 i 号节点一跳范围内的能量剩余最高节点, $\beta j(t)$ 表示 t 时刻第 i 号节点的最大散射角度。 a 和 b 为调整系数, 满足如下模型:

$$a + b = 1 \quad (2)$$

Step 2: 针对模型 (1) 的刺激模型, 按如下方式予以收敛:

$$\beta i(t) = \oint \frac{1}{vi(t)} dt \quad (3)$$

$$vi(t) = |(xi, yi), (xj, yj)| \quad (4)$$

其中: $vi(t)$ 表示第 i 号节点的动量, (xi, yi) 表示第 i 号节点的当前地理坐标, (xj, yj) 表示第 i 号节点一跳范围内能量剩余最大节点的当前地理坐标。

Step 3: 对 Step 2 中所提模型予以迭代, 当仅当两者处于收敛状态未知:

$$\beta i(t, k) = a\beta i(t, k - 1) + b\beta i(t, k - 1) \quad (5)$$

$$vi(t, k) = avi(t, k - 1) + bvi(t, k - 1) \quad (6)$$

其中: k 表示迭代周期。

Step 4: 当仅当满足如下条件时, 流程结束:

$$\|Ri(k, t), Ri(k - 2, t)\| < \omega \quad (7)$$

其中: ω 表示任意所给定的不为 0 的实数。

基于能量-角度刺激机制的路径收敛方法执行完毕后, 所选的备用节点将为剩余能量最大的节点, 且处于当前节点的散射角范围之内, 能够顺利的完成数据的一次传输, 使得网络路径散射现象得到有效抑制。网络链路即将处于抖动时将能够及时切换至备用节点, 从而提高区域路径收敛质量, 降低因能量受限而导致数据传输受阻。

此外, 从上述分析可看到, 通过能量及角度两方面对传输策略予以优化, 能显著提高节点抗抖性能, 这是由于节点在进行数据传输时散射角越小, 其传输信道将能够保持较高的传输性能。结合能量因素, 即可大大提高网络路径收敛质量, 降低因数据传输波动而导致网络传输路径出现抖动, 以增强网络传输能力。

1.2 基于动量优化机制的路径集约

通过节 1.1 所示的区域路径收敛方法, 虽然所选取的备用节点具有能量最优的特点。不过, 单纯采用该方法可能导致备用节点的能量消耗过高^[14-16], 从而使得备用节点在加入网络传输时即有一定概率处于受限状态。鉴于此, 考虑到传输路径现象, 设计了基于动量优化机制的路径集约方法, 见图 3。详情如下。

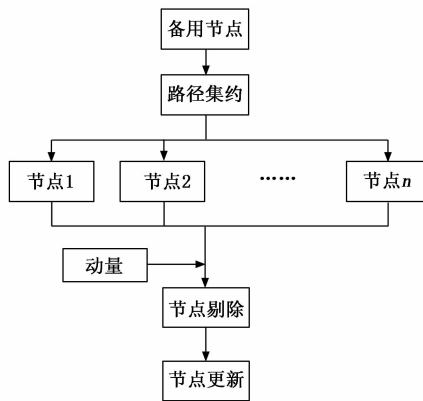


图 3 基于动量优化机制的路径集约过程

Step 1: 针对区域路径收敛过程中可能出现的受限现象, 因此引入动量机制对备用节点予以路径集约, 规避备用节点受限而出现抖动现象。集约模型如下:

$$Pi(t) = a\delta i(t) + b\zeta i(t) \quad (8)$$

$$\delta i(t) = \frac{1}{C - \frac{Emin(t) - E0}{E0 - Emax(t)}} + Emin(t) \quad (9)$$

其中： $P_i(t)$ 表示备用节点的动量， E_0 表示备用节点的最小可工作能量， $E_{\max}(t)$ 表示路径中节点最大的能量剩余值， $E_{\min}(t)$ 表示路径中节点最小的能量剩余值。 $\zeta_i(t)$ 表示信道噪声，一般为高斯噪声、拉普拉斯噪声、莱斯噪声。

Step 2: 按动量 $P_i(t)$ 对路径中全部备用节点予以排序操作，将当前能量低于最小能量剩余值的节点进行剔除，见图 2，算法结束。

完成基于动量优化机制的路径集约方法后，备用节点在被替换为主节点时将不会出现能量受限现象，因此路径集约化程度得以提高，进一步提高了算法的稳定性能。

此外，算法在基于动量优化过程中，能够将部分动量条件较差的节点及时剔除出传输路径，通过该方式能够将可能出现受限状态的网络链路予以及时发现，从而大大增强网络对传输抖动现象的抵抗能力，提升算法对复杂环境的适应性。

2 仿真实验

为便于对比本文算法的性能，采用 MATLAB 仿真实验环境^[17-18]，与当前常用的基于能量管理及路径优化机制的 WSN 传输路径稳定算法^[19]（EED-EM 算法，Elevated Ensemble Dynamic Energy-Aware Routing Optimization Based Energy Management and Network Lifetime Improvement in WSN）和基于概率贪心机制的 3 维 WSN 传输路径稳定算法^[20]（3D-TC 算法，WSN Deployment Strategy for Real 3D Terrain Coverage Based on Greedy Algorithm with DEM Probability Coverage Model）进行对比。考虑不失一般性，节点模型采用随机撒点方式，节点数据传输带宽不低于 4 Mbps，网络部署区域为矩形，大小为 2 048 m×2048 m，网络分区数量不低于 24 个，节点调制模型采用当前通用的 256 PSK 调制模式^[21]，sink 节点为 1 个，信号成型频率为 1.024 MHz，节点通信半径不低于 20 m。详细仿真参数如表 1 所示。

仿真指标采取路径累计抖动频次和网络传输带宽两项具体如下。

路径累计抖动频次：网络运行过程中，按网络运行时间逐步对存量拓扑予以累计统计所得到的抖动次数，该次数越低说明网络传输路径稳定性能也就

越强。

网络传输带宽：网络运行过程中，按照网络运行时间，统计汇入 sink 节点的带宽大小，该数值越大说明网络传输能力也就越高。

仿真实验过程中，将节点传输带宽设置为不低于 4 Mbps，其中高斯信道中节点传输带宽与拉普拉斯信道及莱斯信道中节点传输带宽保持一致。路径累计抖动频次方面测试过程中，节点传输带宽为 10.48 Mbps；网络传输带宽测试过程中，节点传输带宽设置为 4.8 Mbps，以便能够较为准确的获取相关数据。网络分区数量采用随机模式，数量不低于 24 个。节点通信半径设置为 24 m，节点布设密度设置为固定模式，密度为 12 个/百 m²。其余仿真参数同表 1。

表 1 仿真参数表

参数	数值
节点传输带宽	不低于 4 Mbps
网络部署区域	2 048 m×2 048 m
节点布设方式	随机布撒,可游走
网络分区数量	不低于 24
节点调制模式	256-PSK
节点通信半径	不低于 20 m
网络运行时间	不超过 36 h
Sink 节点数量	1 个
信号成型频率	1.024 MHz
子区域内节点布设密度	不低于 10 个/百 m ²
信号发射周期(S)	0.05
数据仿真时间(min)	20 000

此外，在结果捕获方面，按在 10 min 为尺度，逐秒统计 sink 节点捕获的节点及链路数据，解析出路径抖动及当前网络传输带宽，按照分钟尺度分别将路径累计抖动频次和网络传输带宽作为纵轴，将网络运行时间作为横着，从而得到如下所示的路径累计抖动频次仿真测试图和网络传输带宽测试结果。

2.1 路径累计抖动频次

图 4 为本文算法与 EED-EM 算法及 3D-TC 算法在路径累计抖动频次方面的仿真对比。由图可知，本文算法具有路径累计抖动频次较低的特点。这是由于本文算法通过基于能量-角度刺激机制的区域路径收敛方法，所筛选的备用节点具有能量较高的特点，可显著降低因能量消耗而导致路径出现抖动的现象。特别是本文算法采取动量优化机制对可能出现受限现象的备用节点予以剔除处理，能够提升备用节点传输

质量, 因而路径累计抖动频次较低。EED-EM 算法主要基于能量优化机制对路径予以改善, 路径中的中继节点选择存在盲目性, 无法进一步在动量层次对节点予以二次优化, 使得路径在正常传输过程中也容易出现抖动现象, 降低了网络传输性能。3D-TC 算法基于贪心机制, 采用三维方案对备用节点予以更新, 然而由于该算法备用节点为静态模型, 实时性较差, 性能上易出现受限现象, 因此该算法的路径累计抖动频次亦要低于本文算法。

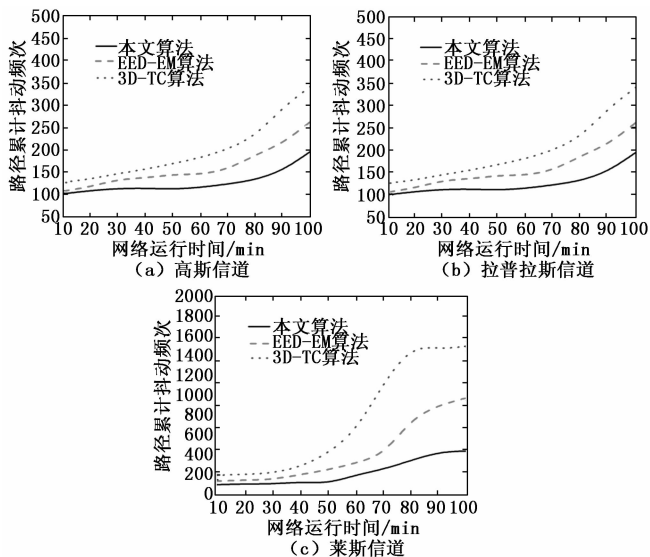


图 4 路径累计抖动频次

2.2 网络传输带宽测试

图 5 为本文算法与 EED-EM 算法及 3D-TC 算法在网络传输带宽方面的仿真对比。由图可知, 本文算法具有网络传输带宽较高的特点, 说明本文算法传输路径稳定性能卓越, 具有很强的数据传输能力。这是由于本文算法采用动量方式, 网络出现抖动时可以选择性能卓越的备用节点对当前路径予以优化, 因而路径传输能量较强, 网络传输带宽也随之得到优化。EED-EM 算法在备用节点更换后将采用重传输模型, 使用累计模式对数据予以重传输, 传输过程中需要频繁根据路径收到的传输报文以便对传输路径予以重定向, 因而路径抖动时将会导致网络出现严重的拥塞现象, 降低了网络传输带宽。3D-TC 算法采用静态模型对备用节点予以归纳, 需要预先针对传输路径中较为稳定的节点进行一一备份, 存在路由变化较低的特点, 使得路径难以针对诸如拥塞、重传输等异常予以路径预判, 传输能量较低, 预判过程中选取的节点普遍存在能量易受限的特点, 出现路径抖动现象时

存在备用节点实时性较低的特点, 因此该算法的网络传输带宽亦要低于本文算法。

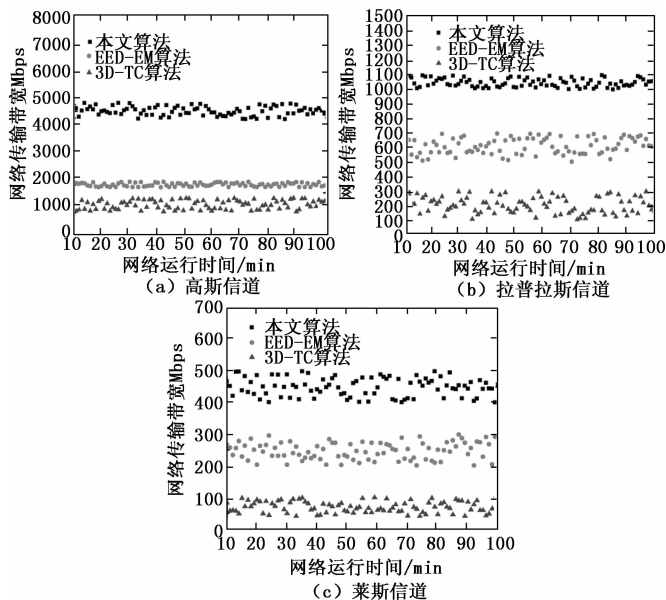


图 5 网络传输带宽

3 结束语

针对无线传感网部署过程中存在的传输路径稳定性问题, 提出了一种基于智能寻径机制的 WSN 传输路径稳定算法。该算法主要从节点备份、能量、动量等维度优化路径, 有效降低网络出现抖动时所导致的路径抖动频繁、网络传输带宽下降等问题。此外, 所提算法亦考虑到动量因素, 进一步从能量维度对网络予以二次优化。仿真实验表明, 所提算法网络传输能量较强, 具有很好的传输路径抖动抑制能力。

下一步, 将积极考虑结合移动路径搜寻算法, 拟提升所提算法在 5G 部署领域内的适用性, 进一步增强无线传感网对超高速移动环境的适应能力。

参考文献:

[1] AMIT S, NAGARAJU A. Low Latency And Energy Efficient Routing—Aware Network Coding—Based Data Transmission In Multi—Hop And Multi—Sink WSN [J]. Ad Hoc Networks, 2020, 9 (10): 107—112.

[2] 马庆功, 丁完成. 基于拨备满足模型的无线传感网节点覆盖算法 [J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2020, 18 (4): 625—632.

[3] 王莹莹, 郑永爱, 王咏梅. 一种可扩展的 WSN 节能分簇算法 [J]. 计算机测量与控制, 2021, 29 (9): 274—278.

[4] 易文周. 基于二阶段差分演化的 WSN 节点定位优化

- [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (8): 286 - 290.
- [5] PANCHIKATTIL S S, DNYANDEO J P. A Fuzzy Multicriteria Decision - Making Based CH Selection And Hybrid Routing Protocol for WSN [J]. International Journal of Communication Systems, 2020, 33 (15): 542 - 551.
- [6] RUKMINI S S, DHIRAJ SUNEHRA. Secure and Energy Aware Multi - Hop Routing Protocol in WSN Using Taylor - Based Hybrid Optimization Algorithm [J]. Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences, 2019, 12 (7): 960 - 968.
- [7] HITESH M, AMIYA K R. Survey On Fault Tolerance - Based Clustering Evolution in WSN [J]. IET Networks, 2020, 9 (4): 166 - 174.
- [8] SALIM E K, REHAN U KI. MW - LEACH: Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy Approach For WSN [J]. IET Wireless Sensor Systems, 2020, 10 (3): 154 - 159.
- [9] NILABAR N. Triangular Fuzzy - Based Spectral Clustering For Energy - Efficient Routing In Wireless Sensor Network [J]. The Journal of Supercomputing: An International Journal of High - Performance Computer Design, Analysis, and Use, 2020, 76 (3): 196 - 203.
- [10] PENG W H, LIU X W. Energy - Efficient Adaptive Slice - based Secure Data Aggregation Scheme in WSN [J]. Procedia Computer Science, 2018, 129 (7): 188 - 193.
- [11] HAN F F. Power Allocation Algorithm Based On Mixed Integer Nonlinear Programming In WSN [J]. Cluster Computing, 2019, 22 (2): 784 - 793.
- [12] KIRANPREET K, RIDHI K. MCPCN: Multi - hop Clustering Protocol Using Cache Nodes in WSN [J]. Wireless Personal Communications, 2019, 109 (3): 1727 - 1745.
- [13] PRAMOD K H. Multipath Data Transmission In WSN Using Exponential Cat Swarm And Fuzzy Optimisation [J]. IET Communications, 2019, 13 (11): 557 - 562.
- [14] DITIPRIYA S, RINA K, SUDHAKAR T. Semisupervised Classification Based Clustering Approach in WSN for Forest Fire Detection [J]. Wireless Personal Communications: An International Journal, 2019, 109 (2): 2561 - 2605.
- [15] ZHANG V B X, QIN S, YING H. The Computation and Analysis of Energy - Efficient Multirelay and Multihop Communication Scheme in Wireless Sensor Networks [J]. International Journal of Communication Systems, 2018, 31 (7): 96 - 104.
- [16] SHI X W, GE G, BO C. Transmission Power Scheduling and Control Co - Design for Wireless Sensor Networks [J]. Information Sciences, 2018, 442 (17): 114 - 127.
- [17] LI K S, FENG Y. A Global - To - Local Searching - Based Binary Particle Swarm Optimisation Algorithm And Its Applications In WSN Coverage Optimisation [J]. International Journal of Sensor Networks, 2020, 32 (4): 667 - 674.
- [18] CHINCOLI M, LIOTTA A. Self - Learning Power Control in Wireless Sensor Networks [J]. Sensors (Basel, Switzerland), 2018, 18 (2): 246 - 257.
- [19] SACHIDHANANDAM P. Elevated Ensemble Dynamic Energy - Aware Routing Optimization Based Energy Management and Network Lifetime Improvement in WSN [J]. Wireless Personal Communications, 2021, 10 (11): 1 - 13.
- [20] FU W D. WSN Deployment Strategy for Real 3D Terrain Coverage Based on Greedy Algorithm with DEM Probability Coverage Model [J]. Electronics, 2021, 10 (16): 2028 - 2028.
- [21] PAWAN S M, MOHAMMAD N D. Fuzzy Based Enhanced Cluster Head Selection (FBECS) for WSN [J]. Journal of King Saud University - Science . 2020, 32 (1): 390 - 401.
- (上接第 214 页)
- [17] 陈卫平. 高可靠、可用数据库系统平台的建立 [J]. 铁路计算机应用, 2005, 14 (s1): 239 - 242.
- [18] 盛乐标, 周庆林, 游伟倩, 等. Kubernetes 高可用集群的部署实践 [J]. 电脑知识与技术, 2018, 14 (26): 46 - 49.
- [19] 王 仪. 基于 Kubernetes 的容器云平台资源调度策略研究 [D]. 西安: 西安理工大学, 2021.
- [20] 刘婉玉. 容器云平台中负载预测与自动伸缩的研究与实现 [D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2021.
- [21] 杨 茂. 基于 Kubernetes 的容器自动伸缩技术的研究 [D]. 西安: 西安邮电大学, 2018.
- [22] 郑 冰. 基于 Kubernetes 的企业级容器云平台设计 [J]. 数字技术与应用, 2019, 37 (6): 138 - 141.
- [23] 邵 翠, 曾德生, 庞双龙, 等. 容器云技术在数据中心中的应用 [J]. 集成电路应用, 2021, 38 (8): 291 - 293.