

面向智慧教室的无线传感网边缘节点智能部署方法

蒋金陵, 徐胜超

(广州华商学院 数据科学学院, 广州 511300)

摘要: 为降低部署后的通信时延, 提高智慧教室的数据发送与网络使用效率, 提出面向智慧教室的无线传感网边缘节点智能部署方法; 以智慧教室场景中良好的通信、最大限度降低部署边缘节点成本为优化目标, 构建边缘节点智能部署的目标函数; 针对目标函数设定流量约束条件、无线传感网数据流约束条件、节点计算能力约束条件; 自适应调整粒子群优化算法的惯性权重、粒子更新速度、Pareto最优解保存策略, 设计多目标改进粒子群优化算法求解目标函数, 实现面向智慧教室的无线传感网边缘节点智能部署; 测试结果表明, 该方法优化目标为网络覆盖率时的最低网络时延为 0.97 s, 数据发送时延为 0.14 s; 优化目标为节点安全连通度时的最大网络时延为 1.68 s, 最大数据发送时延为 0.68 s; 整体连通度较高, 遗漏节点为 0; 网络计算能力平均值为 250.55 MB/s; 在无线传感网边缘节点为 2 000 个时, 基本趋于稳定, 时间复杂度稳定在 3 次; 综上所述, 应用该方法后的时延较低, 部署效果较好, 算法性能较优, 保证了智慧教室无线传感网通信和传输质量。

关键词: 无线传感网; 智慧教室; 边缘节点; 多目标改进粒子群优化算法; 节点部署

Intelligent Deployment Method of Wireless Sensor Network Edge Nodes for Smart Classroom

JIANG Jinling, XU Shengchao

(School of Data Science, Guangzhou Huashang College, Guangzhou 511300, China)

Abstract: Abstract: In order to reduce the communication delay after deployment and improve the efficiency of data transmission and network use in smart classrooms, an intelligent deployment method of wireless sensor network edge nodes for smart classrooms is proposed. As the optimization goal of good communication in the smart classroom scenario, the objective function of intelligent deployment of edge nodes is built to minimize the cost of deploying edge nodes, set the traffic constraints, data flow constraints and node computing capacity constraints for the objective function, adaptively adjust the inertia weight, particle update speed and Pareto optimal solution preservation strategy of the particle swarm optimization algorithm, design a multi-objective improved particle swarm optimization algorithm to solve the objective function, and achieve the intelligent deployment of wireless sensor network edge nodes for smart classrooms. The test results show that the minimum network latency and data transmission latency of this method are 0.97 s and 0.14 s respectively when the optimization objective is network coverage; When the optimization objective is node security connectivity, the maximum network delay is 1.68 s, and the maximum data transmission delay is 0.68 s; The overall connectivity is high, with no missing nodes; The average network computing power is 250.55 MB/s; When the edge nodes in the wireless sensor network is 2 000, it tends to stabilize, with the time complexity of 3 times. In summary, the proposed method has lower latency, better deployment, and better performance, ensuring the communication and transmission quality of the smart classroom wireless sensor network.

Keywords: Keywords: wireless sensor network; smart classroom; edge node; multi-objective improved particle swarm optimization algorithm; node deployment

收稿日期: 2023-09-05; 修回日期: 2023-10-14。

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(61772221); 广州华商学院校内科研导师制项目(2023HS28)。

作者简介: 蒋金陵(1988-), 男, 硕士, 助教。

徐胜超(1980-), 男, 硕士, 副教授。

引用格式: 蒋金陵, 徐胜超. 面向智慧教室的无线传感网边缘节点智能部署方法[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(4): 334-340.

0 引言

面向智慧教室^[1]的无线传感网(WSN, wireless sensor network)的运行对其节点部署的要求十分高,相关的边缘节点智能部署方法引起了学者的广泛关注。对于无线传感网边缘节点部署问题,目前的研究成果已经相当丰富。其中,文献[2]为了减少延迟关键型应用程序的数量,实现低延迟响应,基于边缘计算方法设计了用于分布式云架构和裸机供应商的机会模型。通过在真实地理分布边缘基础设施中部署多服务器在线游戏应用程序,优化了部署性能。文献[3]从通信机制与任务分配机制两个方面,提出了一种新的考虑业务可靠性的边缘云需求响应部署方法。文献[4]基于网络破坏谱(D-spectrum)设计了无线传感器网络节点时间部署优化模型,以平衡成本和可靠性,并在蒙特卡罗模拟中重复训练,从而减少所得到的节点部署可靠性估计方差,进一步提高了部署精度。文献[5]针对无线网络负载不平衡的问题,提出基于分数阶达尔文粒子群算法的无线通信网络节点动态调节方法。

以上方法在智慧教室的部署中会产生较大时延,为了优化智慧教室无线传感网节点部署效果,本文提出设计面向智慧教室的无线传感网边缘节点智能部署方法。

1 无线传感网边缘节点智能部署方法

1.1 目标函数构建

构建面向智慧教室的无线传感网边缘节点智能部署的目标函数。在智慧教室中,教师通过音视频传输,将课件、演示文稿、教学视频等教学资源分享给学生。利用图片、音频、视频等多种形式展示和讲解教学内容,提供更丰富的学习材料,提高学生的学习兴趣 and 主动性。同时,音视频传输可以支持远程教学模式,教师可以通过网络将教学内容传输到学生所在的地方。这可以使教育资源更加均衡地分布并满足学生的学习需求,同时也方便了教师和学生之间的交流和互动。此外,通过音视频传输,学生可以与教师进行实时互动,提问问题、回答问题、讨论等。

这种互动可以增加学生的参与度和学习效果,促进知识的理解和掌握。但在进行音视频内容进行传输时,会由于传输延迟导致音视频内容传输速率下降,影响教学水平,降低学生学习的积极性。而无线传感网边缘节点智能部署可以通过对智慧教室的布局和需求进行分析,利用网络规划工具或优化算法,确定合适的边缘节点部署位置,以最小化传输延迟,并提高音视频内容传输速率。因此,通过构建无线传感网边缘节点智能部署目标函数,利用数据分析和优化算法简化无线传感网边缘节点部署问题、降低目标函数构建的复杂度,优化音视频内容的传输速率和延迟,提高智慧教室的音视频传输质量。同时,为了避免在无线传感网边缘节点部署目标函数构建和优化过程中考虑节点位置问题,降低部署效率的问题,假设边缘初始节点是随

机生成的,且已知其位置坐标。

将优化目标定位在智慧教室场景中边缘计算节点与终端能够完成良好的通信,同时最大限度降低部署边缘节点的成本。

1.1.1 实际成本

根据智慧教室的特点和空间布局,以及人流量的变化,无线传感网部署大量的边缘节点可能需要购买、安装和维护昂贵的设备,并需要耗费人力和资源进行布线 and 配置,确保信号覆盖范围最佳。

通过进行实际成本和连接成本优化,可以在满足教室需求的前提下,合理安排边缘节点的部署位置和数量,减少不必要的成本支出。同时,实际成本优化也可以帮助选择合适的技术方案和设备类型,以降低整体部署和运营的成本,并确保项目的可行性和可持续性发展。本文制定的实际成本优化目标函数具体如式(1):

$$\min f(a) = \sum_{q=1}^Q U_q a_q \quad (1)$$

式(1)中, $\min f(a)$ 为部署智慧教室边缘计算服务器的实际成本; a 为基站函数; Q 为潜在边缘节点部署基站旁所部署的边缘节点的总数值; U_q 为边缘服务器的数量; a_q 为边缘节点的基站部署阈值,当在第 q 个潜在边缘节点部署基站旁对边缘节点进行部署时, $a_q = 1$,当不在该处对边缘节点进行部署时, $a_q = 0$ 。

1.1.2 连接成本

本文制定的连接成本优化目标函数具体如式(2):

$$\min f(b) = \sum_{q=1}^Q \sum_{w=1}^W \sum_{r=1}^R K_{q,w} b_{q,w} F_{w,r} c_{w,r} \quad (2)$$

式(2)中, $\min f(b)$ 为第 q 个潜在的能够部署边缘节点的基站旁所部署的边缘节点与用户 w 连接时花费的连接成本^[6]; b 为连接函数; W 为智慧教室用户的总数值; r 为智慧教室用户类型函数阈值; R 为智慧教室用户类型的总数; $K_{q,w}$ 为连接成本系数,与第 q 个潜在边缘节点部署基站旁所部署的边缘节点与用户 w 连接时的传输时延有关; $b_{q,w}$ 为连接阈值,当第 q 个潜在边缘节点部署基站旁所部署的边缘节点与用户 w 连接时, $b_{q,w} = 1$,当二者未连接时, $b_{q,w} = 0$; $F_{w,r}$ 为智慧教室服务用户类型系数;当服务不同用户类型,需要的连接成本不同; $c_{w,r}$ 为用户类型阈值,当用户类型为教师时, $c_{w,r} = 1$,当用户类型为学生时, $c_{w,r} = 0$ 。

1.1.3 任务处理成本

为支持智慧教室的实时数据获取和分析,无线传感网的边缘节点部署需具备数据采集传输能力,满足学生和教学数据的实时收集和分析需求。通过任务处理成本优化,可以根据不同的任务类型和要求,选择最优的节点来执行任务,以达到最佳的任务处理效率和成本控制。本文制定的任务处理成本优化目标函数具体如式(3)所示:

$$\min f(c) = \sum_{q=1}^Q \sum_{w=1}^W \sum_{r=1}^R G_{q,w} b_{q,w} F_{w,r} c_{w,r} \quad (3)$$

式 (3) 中, $\min f(c)$ 为边缘节点的任务处理成本; c 为智慧教室用户任务处理函数; $G_{q,w}$ 为处理成本系数, 与第 q 个潜在边缘节点部署基站旁所部署的边缘节点的实际处理能力和用户 w 传输的信息量有关。

综合上述实际成本、连接成本和任务处理成本三部分内容, 本文制定的最终优化目标函数具体如式 (4) 所示:

$$\min f(a,b,c) = \min f(a) + \min f(b) + \min f(c) \quad (4)$$

式 (4) 中, $f(a,b,c)$ 为优化的目标函数。完成优化目标函数的制定后, 确定其相关约束条件, 以保证节点部署目标函数的有效性。

1.2 约束条件确定

根据目标函数和无线传感网基础知识可知, 智慧教室中教师和学生的实时互动、个性化学习和自适应教学时, 会产生非常庞大的数据流量。为了保证智慧教室的流畅运行和负载均衡, 从智慧教室无线传感网节点部署流量、数据流、节点计算能力 3 个方面进行约束, 为教师和学生提供更丰富、个性化和互动式的学习体验。

1.2.1 流量约束条件

流量约束条件^[7]需要分情况来构建。对于非数据源的边缘节点, 将其分为非服务器节点与服务器节点这两种情况对其流量的对等关系进行讨论。当其为非服务器节点时, 需要满足数据流平衡, 也就是在单位时间内该节点中流入的数据量与流出的数据量是相等的^[8]。当其为服务器节点时, 节点会对一部分数据进行处理, 则该节点在单位时间内会产生一定数据消耗^[9]。因此服务器节点需要满足数据消耗约束, 也就是单位时间内该节点的数据消耗等于流入数据量与流出数据量的差值^[10]。

因此非数据源的边缘节点的流量约束条件具体如式 (5) 所示:

$$\begin{cases} \forall l \in C - V - B, \sum_{n(n,l) \in S} d_{nl} = \sum_{m(l,m) \in S} d_{lm} \\ \forall l' \in C - B \cap V, h_{l'} = \sum_{n(n,l') \in S} d_{nl'} - \sum_{m(l',m) \in S} d_{l'm} \end{cases} \quad (5)$$

式 (5) 中, l 为非数据源的非服务器节点数量; C 为边缘网络内的节点集合; V 为边缘网络内所有服务器节点的集合; B 为边缘网络内所有数据源节点的集合; n 为数据源节点数量; S 为边缘网络内节点通信链路的对应集合; d_{nl} 为单位时间内由非服务器节点 v_n 到数据源节点 v_l 的对应数据量; m 为非数据源的边缘节点数量; d_{lm} 为单位时间内由数据源节点 v_l 到非数据源的边缘节点 v_m 的对应数据量; l' 为非数据源的服务器节点数量; $h_{l'}$ 为单位时间非数据源的服务器节点的数据消耗; $d_{nl'}$ 为单位时间内由非服务器节点 v_n 到服务器节点 $v_{l'}$ 的对应数据量^[11]; $d_{l'm}$ 为单位时间内由服务器节点 $v_{l'}$ 到非数据源的边缘节点 v_m 的对应数据量。

1.2.2 数据流约束条件

数据源边缘节点分为非服务器节点与服务器节点^[12]两部分, 分别分析其对应流量, 确定数据流约束条件。

当数据源边缘节点为非服务器节点时, 单位时间内用

户节点自身产生的数据量与该用户节点流入的数据量之和等于节点中流出的总数据流量, 如式 (6) 所示:

$$\begin{cases} \forall \bar{l} \in C - B \cap V, f_{\bar{l}} + \sum_{n(n,\bar{l}) \in S} d_{n\bar{l}} = \sum_{m(\bar{l},m) \in S} d_{\bar{l}m} \\ \forall \bar{l}' \in B \cap V, f_{\bar{l}'} + \sum_{n(n,\bar{l}') \in S} d_{n\bar{l}'} = \sum_{m(\bar{l}',m) \in S} d_{\bar{l}'m} + h_{\bar{l}'} \end{cases} \quad (6)$$

式 (6) 中, \bar{l} 为数据源的非服务器节点数量; $f_{\bar{l}}$ 为 \bar{l} 需要传输的数据量; $d_{n\bar{l}}$ 为单位时间范围内由非服务器节点 v_n 到非数据源的边缘节点 $v_{\bar{l}}$ 消耗的数据量; \bar{l}' 为数据源的服务器节点数量; $h_{\bar{l}'}$ 为单位时间数据源的服务器节点的数据消耗^[13]; $d_{n\bar{l}'}$ 为单位时间范围内由非服务器节点 v_n 到非服务器节点 $v_{\bar{l}'}$ 消耗的数据量。

边缘网络数据流应该满足的约束条件是数据流需要小于对应链路的带宽大小, 具体如式 (7) 所示:

$$\begin{cases} \forall (n,m) \in S \\ 0 \leq d_{nm} \leq H_{nm} \end{cases} \quad (7)$$

式 (7) 中, d_{nm} 为单位时间内由非服务器节点 v_n 到非数据源的边缘节点 v_m 的对应数据量; H_{nm} 为 (n,m) 所允许的最大带宽^[14]。

1.2.3 节点计算能力约束条件

边缘网络内节点的计算能力 h_p 需要满足非负性的条件, 具体如式 (8) 所示:

$$\begin{cases} h_p \geq 0 \\ p = 1, 2, \dots, N \end{cases} \quad (8)$$

式 (8) 中, N 为边缘网络内节点的总数^[15-16]。

完成上述 3 个方面的约束条件制定后, 本文利用多目标改进粒子群优化算法求解目标函数。

1.3 目标函数求解

利用多目标改进粒子群优化算法求解在流量、无线传感网数据流、节点计算能力约束下的目标函数, 实现面向智慧教室的无线传感网边缘节点智能部署。

1.3.1 粒子群优化算法改进

要求解目标函数, 首先要求解约束条件。粒子群优化算法具备解决多目标优化问题的潜力, 包括智慧教室的无线传感网边缘节点部署中的传输速率、延迟和带宽利用率等目标。该算法通过群体的协同行为进行全局搜索, 找到一个更优节点部署方案。同时, 粒子群优化算法具有灵活性和可调节性, 通过参数和策略的调整, 能够适应不同问题和约束条件, 满足实际需求。在粒子群优化算法的改进中, 将节点视为粒子, 粒子群即为节点部署, 因此需要对惯性权重、节点部署更新速度、Pareto 最优解保存策略 3 方面进行调整:

1.3.1.1 惯性权重自适应调整

约束条件包括流量约束条件和数据约束条件。流量约束条件需要分情况求解, 满足数据流平衡, 因此需要将粒子群优化算法中的惯性权重调整为自适应惯性权重, 如式 (9) 所示:

$$\omega' = \bar{\omega}_{\max} - \alpha \frac{\bar{\omega}_{\max} - \bar{\omega}_{\min}}{\alpha_{\max}} \quad (9)$$

式 (9) 中, $\bar{\omega}_{\max}$ 为最大惯性权重值; α 为迭代次数; α_{\max} 为最大迭代次数; $\bar{\omega}_{\min}$ 为最小惯性权重值^[17]。

1.3.1.2 节点更新速度

通过惯性权重自适应调节, 满足流量和数据流的约束条件后, 求解节点计算能力的约束条件, 需要调整节点的更新速度。节点更新速度通过虚拟力调整^[18]完成, 调整后的节点更新速度具体如式 (10) 所示:

$$V_h(T+1) = \omega' V_h(T) + \beta_0 \chi_0 (U_{best_h}(T) - \bar{\omega}_h(T)) + \beta_1 \chi_1 (Y_{best_h}(T) - \bar{\omega}_h(T)) + \beta_2 \chi_2 v_h^x \quad (10)$$

式 (10) 中, $V_h(T)$ 为节点部署速度; β_0 、 β_1 、 β_2 为调节虚拟力的变速因子; χ_0 、 χ_1 、 χ_2 为 $[0, 1]$ 范围内的随机数; $U_{best_h}(T)$ 为个体的最优历史位置; $\varphi_h(T)$ 为每个节点的位置; $Y_{best_h}(T)$ 为全局极值位置; v_h^x 为节点 h 的位置向量第 x 维元素在虚拟力下所移动的距离^[19]。

1.3.1.3 Pareto 最优解保存策略

约束条件构建后, 即可求取目标函数。根据上述过程求解的约束条件, 调整 Pareto 最优解保存策略, 选择精英档案策略对 Pareto 最优解进行保存。为实现解的优劣权衡, 引入密集距离, 利用比例选择的方式为各节点选取全局最优部署方案^[20]。即通过式 (11) 的密集距离维护 Pareto 最优解档案, 以限制档案中的解数量:

$$D_1 = \frac{D_2 + D_3}{2} \quad (11)$$

式 (11) 中, D_1 为精英档案内 Pareto 最优解 d_i 在精英档案内的 Pareto 最优解集中的解; D_2 表示 d_i 与精英档案内的 Pareto 最优解集中其他 Pareto 最优解之间的最小距离; D_3 表示 d_i 与精英档案内的 Pareto 最优解集中其他 Pareto 最优解之间的次小距离^[21]。

1.4 实现节点部署

完成粒子群优化算法改进后, 设计多目标改进粒子群优化算法的具体运行步骤, 根据图 1 所示的步骤实现智慧教室无线传感网边缘节点智能部署:

1) 智慧教室无线传感网初始化: 输入流量、无线传感网数据流、节点计算能力约束下的目标函数, 初始化目标函数最大迭代次数 W_{\max} 、节点部署规模 Q 、节点速度和节点位置数据均实施随机初始化处理^[22]。

2) 计算智慧教室中网络各节点的目标函数值: 用 E_1 、 E_2 表示各节点的目标函数值, 对其进行计算。

3) 更新惯性权重 ρ 、节点位置与速度: 根据公式 (9)~(11), 调整自适应惯性权重, 更新节点部署速度和位置, 调整 Pareto 最优解保存策略, 实现目标函数的优化。

4) 节点个体极值选择: 当节点满足设置的约束条件, 直接选择节点个体极值, 将其加入精英档案; 反之, 转到步骤 3) 重新更新节点^[23]。

5) 求解精英档案: 筛选并删除精英档案中的重复成

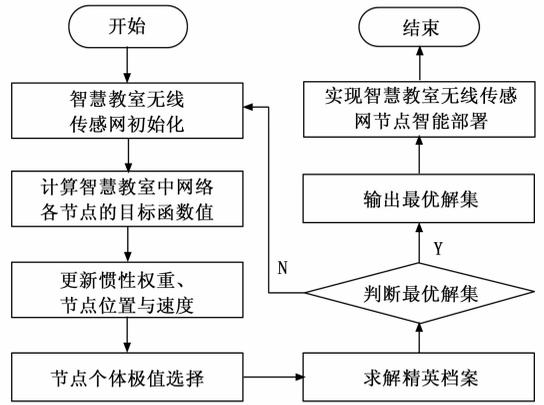


图 1 节点部署流程

员, 以密集距离为依据降序排列档案内成员, 获取最优存档。

6) 判断最优解集: 当实际迭代次数大于等于最大迭代次数, 直接结束循环迭代, 并对最优解集进行输出, 即为优化目标函数的求解结果; 当实际迭代次数小于最大迭代次数, 返回步骤 1) 继续迭代。输出的迭代结果即为智慧教室无线传感网边缘节点智能部署结果。

2 仿真实验与性能分析

为研究面向智慧教室的无线传感网边缘节点智能部署方法的有效性, 设计实验测试。从网络覆盖率、节点安全连通度、网络计算能力 3 个方面进行边缘节点智能部署, 并对本文方法与文献 [2]、[3] 中提出的方法的部署表现性能进行对比测试, 从而对本文方法的有效性进行验证。

2.1 实验设计

实验中的无线传感网为某高校的智慧教室无线传感边缘网络, 利用 MATLAB7.2 软件搭建实验平台, 在 Intel (R) Core (TM) i7-3770 6.40 GHz CPU、8 G 内存, Windows 7 操作系统下, 进行仿真实验。将实验网络的参数设置如表 1 所示。

表 1 实验网络参数设置

参数名称	数值
节点总数/个	500
数据源节点数/个	4
接入带宽/Gbps	2~12
链路带宽/Gbps	4
单位时间内数据源节点所产生的数据量/MB	260、150、80、70
节点通信半径/m	15
节点感知半径/m	7.5

其中, 数据源节点数与该高校的 4 栋教学楼相对应, 能够实现视频数据收集。

利用本文方法对目标网络边缘节点智能部署时, 多目标改进粒子群优化算法的参数设置情况具体如表 2 所示。

表 2 多目标改进粒子群优化算法参数设置

参数名称	数值
惯性权重 ρ	[0.5, 1.0]
最大迭代次数 W_{\max}	300
节点更新速度	[-5, 5]
最大档案值	20
节点部署规模 \bar{Q}	40

根据上述参数设定, 分别利用本文方法、文献 [2] 方法、文献 [3] 方法进行测试。

2.2 优化目标为网络覆盖率的边缘节点智能部署

在优化目标为网络覆盖率的边缘节点智能部署中, 首先测试 3 种方法的时延情况, 具体包括测试部署后的网络时延与数据发送时延, 具体测试结果如表 3 所示。

表 3 部署后的网络时延与数据发送时延测试结果

服务器节点数量/个	网络时延/s			数据发送时延/s		
	本文方法	文献[2]方法	文献[3]方法	本文方法	文献[2]方法	文献[3]方法
1	1.52	2.36	2.41	0.59	0.86	0.75
2	1.32	2.14	2.24	0.41	0.75	0.64
3	1.15	1.98	2.01	0.32	0.65	0.51
4	0.97	1.76	1.84	0.14	0.53	0.49

根据表 3 测试结果, 当优化目标为网络覆盖率时, 本文方法的最低网络时延为 0.97s, 数据发送时延为 0.14 s, 整体时延较低。文献 [2] 方法与文献 [3] 方法的网络时延与数据发送时延也较低, 其中文献 [2] 方法最低网络时延为 1.76 s, 数据发送时延为 0.53 s, 文献 [3] 方法最低网络时延为 1.84 s, 数据发送时延为 0.49 s, 整体来看高于本文方法。该实验初步验证了本文方法通过流量约束和数据流约束提高了节点间数据通信效率, 减少了时延。

2.3 优化目标为节点安全连通度的边缘节点智能部署

在优化目标为节点安全连通度的边缘节点智能部署中, 以网络整体时延和数据发送时延为指标, 测试 3 种方法的智能部署效果。结果如图 2 所示。

当横向与优化目标为网络覆盖率的边缘节点智能部署相比时, 优化目标为节点安全连通度会产生更高的网络时延与数据发送时延; 当纵向比较 3 个测试方法时, 文献 [2] 方法的最大网络时延为 1.92 s, 最大数据发送时延为 0.93 s; 文献 [3] 方法的最大网络时延为 1.95 s, 最大数据发送时延为 0.84 s; 而本文方法的最大网络时延为 1.68 s, 最大数据发送时延为 0.68 s, 整体来说本文方法的两种时延都是最短的。

2.4 部署性能测试

在测试高校 20 m×25 m 范围内, 测试 3 种方法的节点部署性能。以节点间连通度为指标, 分析不同方法的部署效果, 结果如图 3 所示。

分析图 3 可知, 在目标覆盖区域内, 文献 [2] 方法和

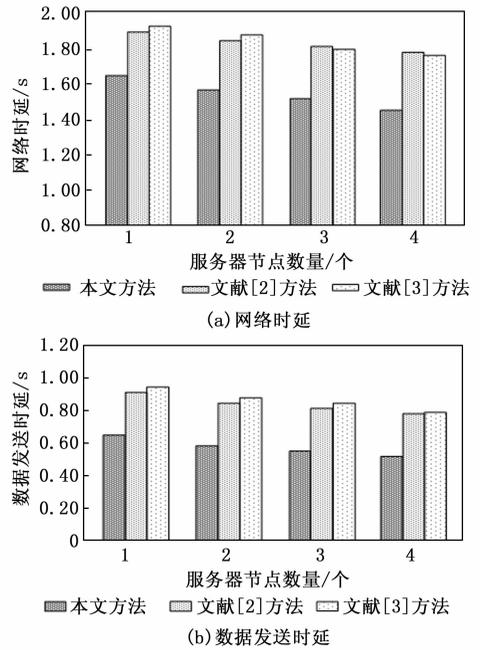


图 2 时延情况测试结果

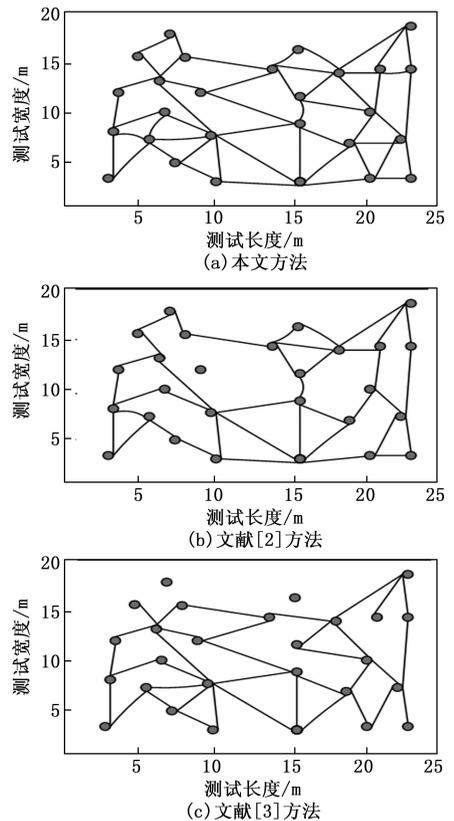


图 3 节点部署性能测试结果

文献 [3] 方法的连通度低于本文方法, 且出现了节点漏识的现象。其中, 文献 [2] 方法和文献 [3] 方法分别遗漏了 1 个和 2 个节点, 而本文方法整体连通度较高, 遗漏节点

为0, 部署效果较好。其主要原因是本文方法利用多目标改进粒子群算法求解了流量、无线传感网数据流、节点计算能力约束下的目标函数, 通过粒子更新等操作优化了部署性能。

2.5 网络计算能力测试

网络计算能力可以更好地衡量3种方法部署下的智慧教室无线传感网通信能力, 因此分别测试3种方法的网络计算能力。网络计算能力如图4所示。

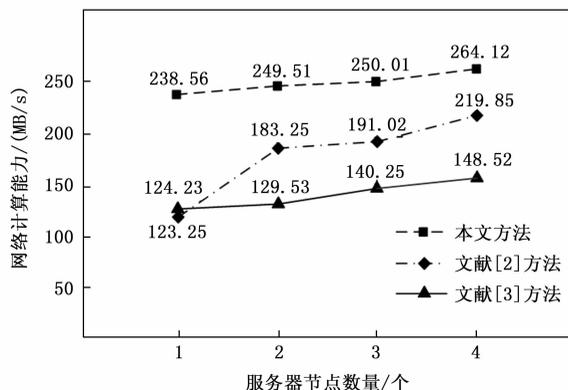


图4 网络计算能力测试结果

分析图4可知, 在服务器节点数量不断增长的同时, 3种方法的网络计算能力也在不断增长, 文献[2]方法的增幅较大, 网络计算能力居中, 最高计算能力为219.85 MB/s; 文献[3]方法的增幅较小, 网络计算能力较低, 最高计算能力为148.52 MB/s; 而本文方法的增幅较小, 同时整体网络计算能力一直高于两种对比方法, 测试中的网络计算能力平均值为250.55 MB/s。总体来说, 本文方法的网络计算能力比较稳定, 同时网络计算能力也比较高。

2.6 时间复杂度测试

为进一步验证所提面向智慧教室的无线传感网边缘节点智能部署方法的有效性, 以时间复杂度为指标, 分别将引言中提到的文献[2]方法和文献[3]方法作为对比方法, 在无线传感网边缘节点为3000个的条件下, 分析不同算法的时间复杂度, 结果如图5所示。

由图5可知, 面向智慧教室的无线传感网边缘节点智能部署方法、文献[2]方法和文献[3]方法的时间复杂度呈现线性增长趋势, 其复杂度与无线传感网边缘节点的大小成正比。其中, 面向智慧教室的无线传感网边缘节点智能部署方法在无线传感网边缘节点为2000个时, 基本趋于稳定, 时间复杂度稳定在3次; 而文献[2]方法始终处于增长状态, 文献[3]方法在无线传感网边缘节点为2000个时呈现缓慢增长状态, 时间复杂度分别达到22次和14次。综上可知, 本文面向智慧教室的无线传感网边缘节点智能部署方法时间复杂度更低, 优化了节点部署效果。

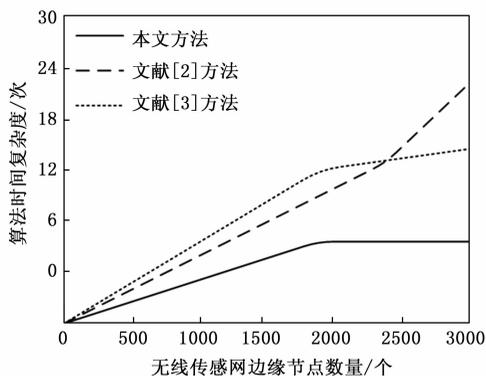


图5 时间复杂度对比结果

3 结束语

为实现智慧教室服务能力的提升, 本文提出一种面向智慧教室的无线传感网边缘节点智能部署方法。测试结果表明, 本文方法部署后的节点, 智慧教室无线传感网通信时延明显降低, 部署性能较好, 同时也验证了本文方法实现了无线传感网边缘节点的科学、迅速部署, 为智慧教室资源调度创造了更好的条件, 也为其他服务提供了更好的网络支持。

参考文献:

- [1] SAINI, KUMAR M, NEERAJ G. How smart are smart classrooms? a review of smart classroom technologies [J]. *ACM Computing Surveys*, 2020, 52 (6): 1-28.
- [2] HUEDO E, MONTERO R S, MORENO V R, et al. Opportunistic deployment of distributed edge clouds for latency-critical applications [J]. *Journal of Grid Computing*, 2021, 19 (1): 1-16.
- [3] 曹望璋, 李彬, 祁兵, 等. 一种考虑业务可靠性的需求响应边缘云部署方法 [J]. *中国电机工程学报*, 2021, 41 (3): 864-857.
- [4] BOARDMAN N T, SULLIVAN K M. Time-based node deployment policies for reliable wireless sensor networks [J]. *IEEE Transactions on Reliability*, 2021, 70 (3): 1204-1217.
- [5] 张耀, 王珂琦. 无线通信网络非等间距节点负载均衡部署研究仿真 [J]. *计算机仿真*, 2021, 38 (2): 141-144.
- [6] MUKHOPADHYAY B, SRIRANGARAJAN S, KAR S. RSS-based cooperative localization and edge node detection [J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2022, 71 (5): 5387-5403.
- [7] HAFEEZ I, ANTIKAINEN M, DING A Y, et al. IoT-KEEPER: detecting malicious IoT network activity using online traffic analysis at the edge [J]. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 2020, 17 (1): 45-59.
- [8] JIANG W, LÜ S. Hierarchical deployment of deep neural networks based on fog computing inferred acceleration model [J]. *Cluster Computing*, 2021, 24 (4): 2807-2817.

- [9] WANG Z, ZHANG W, JIN X, et al. An optimal edge server placement approach for cost reduction and load balancing in intelligent manufacturing [J]. *The Journal of Super Computing*, 2022, 78 (3): 4032–4056.
- [10] ZAHOOR S, NAAZ R. Resource efficient deployment and data aggregation in pervasive IoT applications (smart agriculture) [J]. *Recent Advances in Computer Science and Communications (Formerly: Recent Patents on Computer Science)*, 2021, 14 (1): 141–156.
- [11] WU Z, YANG Z, YANG C, et al. Joint deployment and trajectory optimization in UAV-assisted vehicular edge computing networks [J]. *Journal of Communications and Networks*, 2021, 24 (1): 47–58.
- [12] ZHU X, XIAO F, WANG Y, et al. Optimal edge gateway deployment in internet of things based on simulated annealing with adaptive external penalty [J]. *IET Communications*, 2021, 15 (16): 2111–2124.
- [13] IBRAR M, WANG L, MUNTEAN G M, et al. SOSW: scalable and optimal nearsighted location selection for fog node deployment and routing in SDN-based wireless networks for IoT systems [J]. *Annals of Telecommunications*, 2021, 76 (5): 331–341.
- [14] GANDHIMATHI S, ESTHER S A, SOWMYA B. Spectrum resource utilization and security enhancement in multi-domain elastic optic networks (MD-EON) using memetic algorithm [J]. *Wireless personal communications: An International Journal*, 2021, 120 (1): 139–152.
- [15] ZHU X, ZHOU M, ABUSORRAH A. Optimizing node deployment in rechargeable camera sensor networks for full-view coverage [J]. *IEEE Internet of Things Journal*, 2021, 9 (13): 11396–11407.
- [16] LI Y, CAO J. WSN node optimal deployment algorithm based on adaptive binary particle swarm optimization [J]. *ASP Transactions on Internet of Things*, 2021, 1 (1): 1–8.
- [17] WANG W Q. Optimization of wireless network node deployment in smart city based on adaptive particle swarm optimization [J]. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems: Applications in Engineering and Technology*, 2020, 39 (4): 4959–4969.
- [18] JAWAD H M, JAWAD A M, NORDIN R, et al. Accurate empirical path-loss model based on particle swarm optimization for wireless sensor networks in smart agriculture [J]. *IEEE Sensors Journal*, 2020, 20 (1): 552–561.
- [19] DEVI E A, MANICKAM J M L. Backup node selection using particle swarm optimisation algorithm for cut node recovery in wireless sensor network [J]. *International Journal of Business Information Systems: IJBIS*, 2020, 35 (3): 340–362.
- [20] RAWAT P, CHAUHAN S. Particle swarm optimization-based energy efficient clustering protocol in wireless sensor network [J]. *Neural Computing & Applications*, 2021, 33 (21): 14147–14165.
- [21] KAUR S, GREWAL V. A novel approach for particle swarm optimization-based clustering with dual sink mobility in wireless sensor network [J]. *International Journal of Communication Systems*, 2020, 33 (16): 1–23.
- [22] PATTNAIK S, SAHU P K. Adaptive neuro-fuzzy inference system-particle swarm optimization-based clustering approach and hybrid mothflame cuttlefish optimization algorithm for efficient routing in wireless sensor network [J]. *International Journal of Communication Systems*, 2021, 34 (9): 1–28.
- [23] ADWITIYA S, MEETA G. Particle swarm optimization-based data aggregation in wireless sensor network: proposed PSO-SNAP protocol [J]. *International Journal of Swarm Intelligence Research*, 2021, 12 (1): 1–16.
- ***
(上接第 321 页)
- [12] 王如平, 周一舟, 王鑫. 基于 MBSE 的复杂工程系统可靠性设计分析关键技术研究 [J]. *航空标准化与质量*, 2021 (5): 42–51.
- [13] 李东杰, 李华梅, 谭亮, 等. 引信电子安全与解除保险装置发展现状及趋势 [J]. *探测与控制学报*, 2015 (2): 1–6.
- [14] 肖龙远. 引信模块化系统架构研究 [J]. *探测与控制学报*, 2022, 44 (3): 11–16.
- [15] 谷青范, 王国庆, 张丽花, 等. 基于模型驱动的航电系统安全性分析技术研究 [J]. *计算机科学*, 2015, 42 (3): 124–127.
- [16] 姬晓慧, 陈国定. MBSE 方法论实施方法研究 [J]. *中国新技术新产品*, 2022 (4): 33–38.
- [17] 浦乐, 王西超, 杨艺. 基于 MBSE 与 SysML 的空空导弹系统架构建模研究 [J]. *航空科学技术*, 2020, 31 (2): 54–59.
- [18] 王国梁, 赵滢, 卢志昂, 等. 基于 MBSE 的导弹武器系统效能评估 [J]. *火力与指挥控制*, 2022, 47 (8): 116–123.
- [19] 张福凯, 贺轶斐, 谷青范. 基于模型驱动的 HUD 系统安全性分析方法研究 [J]. *航空电子技术*, 2014 (3): 52–56.
- [20] WANG W R, SHI X H, LU X H. A safety simulation analysis algorithm for Altarica language [J]. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 2021, 33 (7): e. 4990. 1–e. 4990. 10.
- [21] GAO P F, LIU C, DONG H R, et al. A dynamic fault tree based CBTC onboard ATP system safety analysis method * [C] //2020 IEEE 23rd International Conference on Intelligent Transportation Systems: 23rd IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Rhodes, Greece, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2020: 1–7.