



复杂建筑群物联网非均匀分布节点随机负载均衡性优化模型

郭文磊

(天水市投资发展(集团)有限公司, 甘肃 天水 741000)

摘要: 为了提高复杂建筑群物联网的负载均衡性, 维护复杂建筑群物联网稳定运行, 提出了复杂建筑群物联网非均匀分布节点随机负载均衡性优化模型。在复杂建筑群中布设传感器设备以及接入无线网络, 构建复杂建筑群物联网; 确定物联网环境中各个节点的分布位置, 收集并整合非均匀分布节点随机负载数据; 采用 IALBR 路由协议, 计算非均匀分布节点优先级; 通过生成调度链路以及计算调度量, 完成模型的节点负载均衡调度任务, 优化物联网的负载均衡性。实验结果表明: 与传统模型相比, 设计模型下节点的负载偏差指数的平均值为 0.002, 应用设计模型能够有效降低物联网的拥塞概率、提高网络吞吐量。

关键词: 复杂建筑群; 物联网节点; 非均匀分布节点; 负载均衡性优化

中图分类号: TP393

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2023145

Optimization model of random load balancing of heterogeneous nodes in complex buildings

GUO Wenlei

Tianshui City Investment Development (Group) Co., Ltd., Tianshui 741000, China

Abstract: In order to improve the load balancing of a complex building complex IoT and maintain its stable operation, a random load balance optimization model for non-uniformly distributed nodes in a complex building complex IoT was proposed. Sensor devices were deployed and wireless networks were accessed in complex building clusters to build the Internet of things for complex building clusters. The distribution location of each node in the Internet of things environment was determined, and random load data of non-uniformly distributed nodes was collected and integrated. The priority of non-uniformly distributed nodes was calculated using the IALBR routing protocol. By generating scheduling links and calculating the scheduling amount, the node load balancing scheduling task of the model was completed, and the load balancing of the Internet of things was optimized. The experimental results show that compared with traditional models, the average value of the load balance index of nodes under the design model is 0.002. The application of the design model effectively reduces the congestion probability of the Internet of things and improved network throughput.

Key words: complex building, IoT node, non-uniformly distributed node, load balancing optimization



0 引言

建筑群指的是建筑式样、分布均匀或与环境景色结合方面具有突出的普遍价值的单立或连接的多个建筑。由于各个建筑的结构、地理位置等信息存在较大差异,形成了复杂建筑群。为了实现对复杂建筑群的精准化与智能化管理,在复杂建筑群内部安装多个传感器和控制器设备,并通过设备之间的无线连接,形成复杂建筑群物联网场景^[1-4]。复杂建筑群物联网由多个分布在不同位置上的节点组成,由于各个节点使用的设备型号存在差异,节点的设置位置不存在对称特征,形成了物联网的非均匀分布结构,导致各节点间的间隔距离存在明显差异^[5-6],最终形成复杂建筑群物联网中非均匀分布节点的负载差异。

为了提高复杂建筑群物联网的负载均衡性,设计负载均衡性优化模型。负荷均衡就是利用任务调度来优化资源的配置。在计算机中,网络负载均衡的基本理念是:尽量将网络的要求、数据流等平均分配到多个设备和链路上,使每个设备或链路的负荷保持在一个比较平衡的状态。该方法利用调度、过滤和转发的方法,实现了高并发业务在服务器集群中的分布,实现了对外部请求的优化,降低了网络的拥塞和负载^[7]。负载均衡基于已有的网络架构,为网络设备、服务器的灵活应用提供一种低成本、高效、透明的方式^[8]。从目前的物联网节点负载均衡模型研究情况来看,发展较为成熟的模型主要应用了长短期记忆(long short-term memory, LSTM)网络技术、多粒度粗糙集属性约简技术以及粒子群优化算法,将其应用到复杂建筑群物联网的负载均衡性优化工作中,上述模型存在明显的均衡效果不佳的情况。为了解决传统负载均衡模型存在的问题,将复杂建筑群物联网的非均匀分布节点作为研究对象,对随机负载均衡性优化模型进行优化,以期能够提升复杂建筑群物联网的均衡程度以及整体吞吐量。

1 非均匀分布节点随机负载均衡性优化模型设计

优化设计的非均匀分布节点随机负载均衡性优化模型的运行原理是:在复杂建筑群物联网环境下,整合所有非均匀分布节点的随机负载资源,通过路由协议的约束,根据各分布节点的负载限值和优先级^[9-10],确定各个节点的负载值,从而计算各节点的负载调度量。选择合适的调度目标节点以及传输链路,最终通过负载调度,实现模型的非均匀分布节点随机负载均衡性优化任务。

1.1 建立复杂建筑群物联网

通过复杂建筑群中传感器设备的布设以及无线网络的接入,完成复杂建筑群物联网的建立。复杂建筑群物联网架构如图1所示。

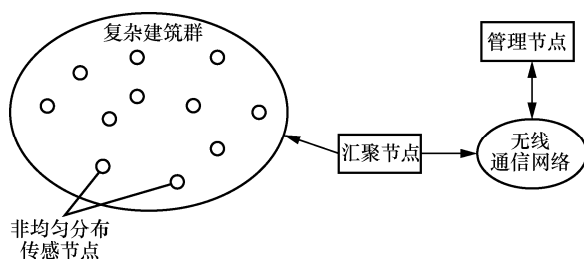


图1 复杂建筑群物联网架构

从图1可以看出,复杂建筑群物联网由数据传感、数据分布、控制管理等多个部分组成,其网络结构通常包括传感器节点、汇聚节点和管理节点,且各个节点之间呈非均匀结构分布^[11-12]。建立的复杂建筑群物联网中任意两个非均匀分布节点之间生成传输信道,用来实现负载的传递与转移,任意两个分布节点间通信信道的传输函数可以表示为:

$$g_{ij} = \left(y_i \times \sum \frac{l_{ij} \tau_{ij}}{\chi} \right) - \lambda_{ij} \quad (1)$$

其中, g_{ij} 为非均匀分布节点 i 和 j 间的传输函数, y_i 为节点 i 的发送数据, l_{ij} 和 τ_{ij} 分别表示的是节点 i 和 j 组成信道的扩展损失和特征分量^[13-14], χ 为信道中的信号分布, λ_{ij} 对应的是信道衰减系数,

该变量的求解计算式如下:

$$\lambda_{ij} = P_{\text{launch}} - \left(P_{\text{attenuation}}(d_0) + 10 \lg \left(\frac{d_{ij}}{d_0} \right) + \varphi \right) \quad (2)$$

其中, P_{launch} 和 $P_{\text{attenuation}}$ 分别表示信号的发射功率和节点衰减功率, d_0 和 d_{ij} 对应的是近地参考距离和两节点之间的距离, φ 为高斯分布随机变量^[15]。

在考虑节点衰减和位置偏移的情况下, 得出复杂建筑群物联网的动态负载 M 为:

$$\begin{cases} M = \left(\frac{f \times \gamma}{g} \right) \times t \\ f = \frac{B}{g} \end{cases} \quad (3)$$

其中, f 为非均匀节点形成信道的扩展分量, γ 为分布节点的负载峰值, t 为时间, B 代表信道带宽。将信道传输函数的求解结果代入式 (3), 可得出复杂建筑群物联网实时负载的求解结果。

1.2 整合非均匀分布节点随机负载数据

非均匀分布节点随机负载数据采集流程如图 2 所示。针对复杂建筑群物联网中的非均匀分布节点, 按照图 2 的流程采集各节点上的负载数据。

由图 2 可知, 在非均匀分布节点随机负载数据采集过程中, 需要通过解析路由网关连接节点信息来返回相应结果, 通过判断是否完成全部连接节点数据的采集进行数据存储。

各个节点负载的数据包括表格、图像、数据等多种形式, 为了使不同性质的属性能反映出相等的综合作用, 对数据进行归一化处理, 处理过程可以表示为:

$$x_{c,i} = \frac{x_i - \min(X)}{\max(X) - \min(X)} \quad (4)$$

其中, x_i 和 $x_{c,i}$ 分别为归一化处理前后的节点负载数据, X 为采集的负载数据集, $\max()$ 和 $\min()$ 对应的是最大值和最小值的求解函数^[16]。在此基础上, 对非均匀分布节点位置上采集的随机负载数据进行整合, 整合结果为:

$$X_{\text{integration}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{node}}} \varpi_i x_{c,i} \quad (5)$$

其中, ϖ_i 为非均匀分布节点的权重值, n_{node} 为复杂建筑群物联网中包含的非均匀分布节点的数量。按照上述流程完成对物联网节点随机负载数据的整合。

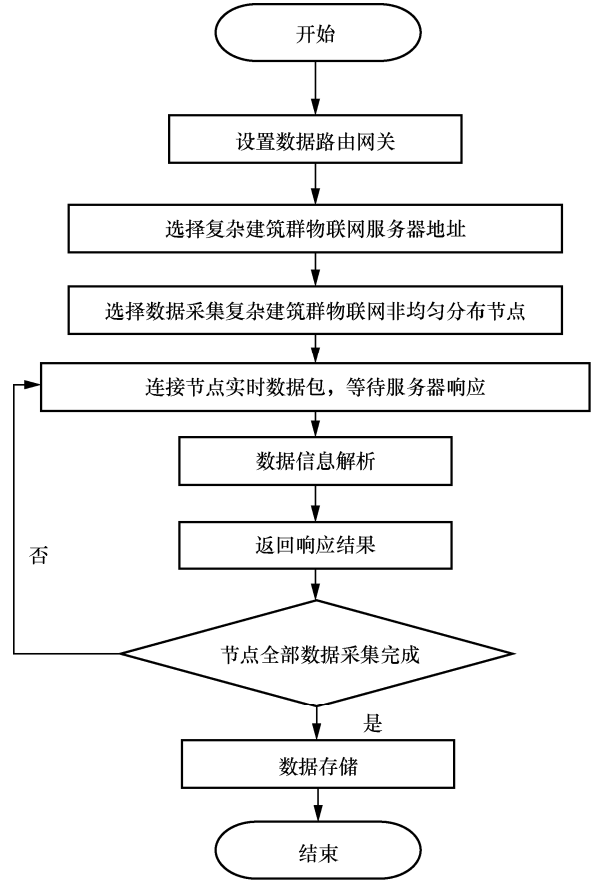


图2 非均匀分布节点随机负载数据采集流程

1.3 设置复杂建筑群物联网负载均衡路由协议

路由协议是指导数据发送的事先约定好的规定和标准, 构建的复杂建筑群物联网中采用基于预估通过时长的负载均衡机会路由 (infrastructure assisted load balancing routing, IALBR) 协议, 该协议的工作原理如图 3 所示。

由图 3 可知, 源节点 O 发送分组给目的节点 A_3 之前, 首先查看自己的路由表是否有到目的节点 A_3 的最新的路由信息, 并利用加性度量方式对物联网节点进行路由度量, 度量结果 $u(p)$ 为:



$$u(p) = \sum_{i=1}^{n_{\text{node}}} u(l_i) \quad (6)$$

其中, $u(l_i)$ 是节点 p 上任意链路 l_i 的度量参数。如果未检测到最新路由且路由高于阈值 u_0 , 则源节点 O 会先广播路由请求 (route request, RREQ) 消息来进行路由发现, 即获取一条由源节点 O 到目的节点 A_3 的路由^[17]。RREQ 消息中需要多个保存路由负载的信息位, 并初始化为 0。RREQ 消息经过 A_1 、 A_2 、 A_4 和 A_5 后被节点 A_3 接收。如果目标节点收到 RREQ 信息, 则表示在节点 O 与节点 A_3 间已有一条可以使用的路径^[18-20]。目标节点会根据 RREQ 的时间戳来判定, 若 RREQ 报文是新的, 它就会将 RREQ 报文中所包含的路径负载信息进行更新, 然后用路由应答 (route reply, RREP) 消息予以响应。

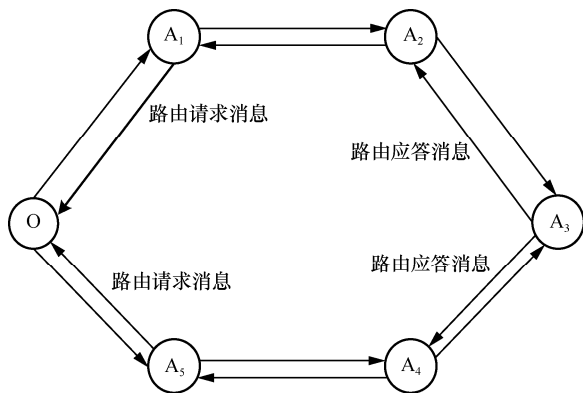


图3 负载均衡路由协议工作原理

1.4 计算非均匀分布节点优先级

通过对非均匀分布节点优先级的计算, 能够确定复杂建筑群物联网实时负载分配节点的调度顺序, 在实际调度过程中, 选择优先级最高的非均匀分布节点作为负载的调度目标^[21]。在节点优先级的度量过程中, 需要考虑节点连接信道数量、节点负载空间以及节点安全程度等多个方面, 那么非均匀分布节点优先级 ψ 的计算式如下:

$$\psi = W \times (\xi_1 \times \mu_{\text{use}} + \xi_2 \times \zeta_{\text{security}} + N_L \times n_{\text{Hops}}) \quad (7)$$

其中, W 为节点剩余的负载空间、 ξ_1 和 ξ_2 均为常

数系数, μ_{use} 为节点利用率, ζ_{security} 为节点的安全系数, N_L 和 n_{Hops} 分别表示节点连接的信道数量和跳数比。其中, 变量 W 和 ζ_{security} 的求解过程可以表示为:

$$\begin{cases} W = W_{\text{all}} - W_{\text{occupy}} \\ \zeta_{\text{security}} = \sum q_i \sigma_{\text{attr}_i} \omega_i \end{cases} \quad (8)$$

其中, W_{all} 为节点的总空间量, W_{occupy} 为占用空间量, q_i 、 σ_{attr_i} 和 ω_i 分别为节点的访问状态、安全度量值和第 i 个属性的权重^[22]。同理可以得出式 (7) 中其他变量的计算结果, 进而得出复杂建筑群物联网中所有非均匀分布节点的优先级计算结果。

1.5 实现非均匀分布节点随机负载均衡性优化

在路由协议的约束下, 通过度量物联网非均匀分布节点的实时负载, 判定当前节点是否需要执行均衡调度任务。任意节点 i 的实时负载情况可以通过单位时间内节点空闲的概率来衡量, 节点实时负载的度量结果如下:

$$M_i(t) = 1 - P_{\text{free}}^i(t) \quad (9)$$

通过式 (9) 可以看出, 信道空闲概率 $P_{\text{free}}^i(t)$ 越高, 对应节点的实时负载量 $M_i(t)$ 越小。若当前负载高于节点负载的限值, 则立即启动均衡调度程序。均衡调度程序的执行大体可以分为 3 个步骤, 分别为选择负载调度链路、计算负载调度量和执行均衡调度任务^[23]。选择当前复杂建筑群物联网中优先级最高的节点作为负载的调度目标节点, 并选择任意节点, 度量节点之间的连通度。若连通度的度量结果大于 0, 则选择的节点为最优邻居节点, 能够组成调度链路; 若连通度的度量结果等于 0, 则表示当前节点为孤立节点, 需要重新选择调度链路节点。按照上述方式对物联网中的所有节点进行度量, 按照检索顺序依次连接节点, 形成以当前节点为起点、调度目标节点为终点的负载调度链路。在此基础上, 计算非均匀分布节点的负载均衡调度量 ΔM_{ij} , 计算式如下:

$$\Delta M_{ij} = \begin{cases} M_i - M_{i,\max}, (M_{j,\max} - M_j) - (M_i - M_{i,\max}) > 0 \\ M_{j,\max} - M_j, (M_{j,\max} - M_j) - (M_i - M_{i,\max}) \leq 0 \end{cases} \quad (10)$$

其中, i 为当前节点, j 为调度目标节点, 变量 M_i 和 $M_{i,\max}$ 分别表示节点 i 负载的当前值和最大值; 同理, M_j 和 $M_{j,\max}$ 对应的是调度目标节点的当前负载和负载限值。将负载调度量的计算结果添加到选择的调度链路中, 执行负载均衡调度指令^[24]。非均匀分布节点负载均衡调度的运行机制。在非均匀分布节点随机负载均衡性优化模型的运行过程中, 需要根据各个节点的实际负载情况设置约束条件, 具体的设置情况如下:

$$\Delta M_{ij} \leq \max(M_p), p \in U_{\text{link}} \quad (11)$$

其中, U_{link} 为链路上所有节点的集合, M_p 为链路上任意节点的负载值。通过负载条件的设置与约束, 保证实际调度的负载量不超过链路中任意一个节点的负载限值^[25-26]。执行一次负载均衡调度任务后, 对调度链路中的所有节点的负载情况进行动态更新, 判断当前调度任务是否能够实现当前节点过载量的全部转移, 若当前节点依旧存在过载情况, 则需要重新度量非均匀分布节点的优先级^[27-28], 并重复执行负载均衡调度任务, 直到复杂建筑群物联网中所有节点均达到均衡状态为止。

2 模型测试

针对模型负载均衡性优化效果以及应用效果两个方面的内容, 设计模型测试实验。此次实验选择 Ubuntu 作为模型的开发工具, 将某复杂建筑群作为研究对象, 通过智能设备的安装构建物联网环境, 设置建筑群空间、环境变量以及设备运行状态等状态数据作为节点负载, 通过对比模型运行前后各节点的负载变化情况, 证明设计模型的负载均衡性优化效果。

2.1 布设复杂建筑群物联网非均匀分布节点

此次实验选择某复杂古建筑群作为研究背景, 该建筑群具体包含 342 个大小不同的建筑体, 建筑类型包括塔式房屋建筑、板式房屋建筑、凉亭、晾台、矮层楼房、假山等。选择复杂建筑群的占地面积约 25.8 km^2 , 建筑群内居民数量约 1.3 万人。在负载建筑群内的各个建筑体内外安装传感器装置, 具体包括温度传感器、湿度传感器、噪声传感器、太阳辐射传感器和空气质量传感器等, 根据不同的建筑类型选择最佳的传感器安装位置, 从而形成复杂建筑群物联网及其内部的非均匀肺部节点。复杂建筑群物联网非均匀分布节点布设实景如图 4 所示。

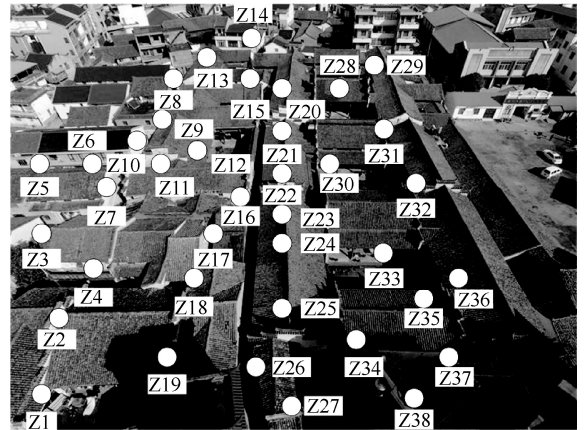


图 4 复杂建筑群物联网非均匀分布节点布设实景

由图 4 可知, 在进行实景布置前, 需要在复杂建筑群内布设无线网络, 并将安装的传感器设备接入无线通信网络中。通过设备统计, 复杂建筑群物联网中共包含 442 个非均匀分布节点。

2.2 设定复杂建筑群物联网节点初始状态

根据传感器设备的类型和型号, 设置物联网节点的初始状态。设置温度传感器和湿度传感器的数据存储时长为 2 天, 噪声传感器的数据存储时长为 5 天, 太阳辐射传感器和空气质量传感器的数据存储时长为 7 天, 不同设备的数据采集频率存在细微差别。复杂建筑群物联网相关设备安装完成后, 设置传感器的工作参数并启动运行程序, 经过 10 天



的数据收集周期,得出物联网节点的初始数据。复杂建筑物群物联网节点初始状态设置见表1。

表1 复杂建筑物群物联网节点初始状态设置

物联网节点编号	初始数据量/GB	最大负载量/GB
Z1	74.8	128.0
Z2	95.2	128.0
Z3	87.5	64.0
Z4	104.7	64.0
Z5	124.6	256.0
Z6	134.1	128.0
Z7	102.8	256.0

根据表1数据,本文得出复杂建筑物群物联网中442个非均匀分布节点的初始状态设定结果。

2.3 描述模型运行与测试过程

在开始实验之前,首先根据模型的路由协议选择与优化情况,将相关文件配置到模型的运行

环境中。利用安装的Ubuntu工具开发非均匀分布节点随机负载均衡性优化模型,将各个非均匀分布节点连接到优化模型中,经过负载程度检测、调度量计算等步骤,执行非均匀分布节点的负载均衡性优化调度指令。非均匀分布节点的负载均衡性优化调度结果如图5所示。

由图5可知,Z1、Z2、Z3节点执行负载均衡性优化调度指令后,不同节点在相同时间内的节点负荷差值较小。在模型任务执行完成后,输出“执行完成”弹窗,即完成一次测试操作。在模型运行的过程中,复杂建筑物群物联网继续执行数据采集与传输任务。实验选取复杂建筑物群物联网非均匀分布节点随机负载均衡性优化模型作为实验组,将基于LSTM的负载均衡模型和基于粒子群优化算法的负载均衡模型作为实验的对比组,在

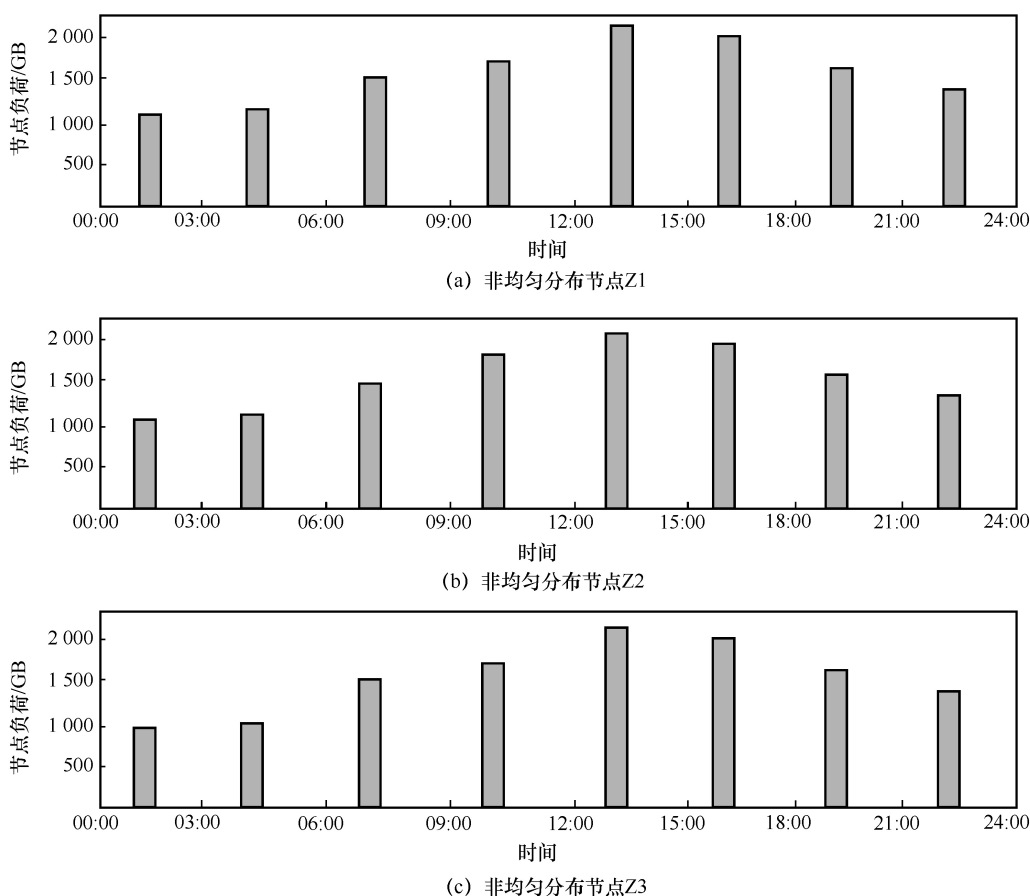


图5 非均匀分布节点的负载均衡性优化调度结果

完成一次调度任务后, 将复杂建筑群物联网中所有节点的负载状态恢复至初始状态, 切换负载均衡模型, 得出对应的处理结果。

2.4 设置模型性能测试指标

此次实验分别从负载均衡性优化效果和模型的应用性能两个方面进行测试, 设置节点负载偏差指数作为模型优化效果的测试指标, 节点负载偏差指数数值结果 $\varepsilon_{\text{deviate}}$ 如下:

$$\varepsilon_{\text{deviate}} = \frac{\sum_{r=k=1}^{n_{\text{node}}} (M_r - M_k)}{\bar{M}} \quad (12)$$

其中, M_r 和 M_k 表示物联网中任意两个非均匀分布节点 r 和 k 的实际负载量, $\bar{M}$ 为复杂建筑群物联网节点负载的平均值, 变量 $\bar{M}$ 的计算式如下:

$$\bar{M} = \frac{1}{n_{\text{node}}} \sum M \quad (13)$$

通过式 (12) 计算得出结论: $\varepsilon_{\text{deviate}}$ 的值越小, 对应模型的负载均衡性优化效果越优。另外, 设置物联网拥塞概率 $P_{\text{congestion}}$ 和吞吐量 Q 作为模型应用性能的量化测试指标, 其测试结果可以表示为:

$$\begin{cases} P_{\text{congestion}} = \frac{W}{\min\{W_{\text{dispatch}}\}} \\ Q = \frac{\sum_{i=1}^{n_{\text{node}}} Q_i}{n_{\text{node}}} \end{cases} \quad (14)$$

其中, W_{dispatch} 为模型运行结束后节点的剩余空间, Q_i 为节点 i 的吞吐量。计算得出结论: $P_{\text{congestion}}$ 的

值越小, Q 的值越大, 证明对应模型的应用性能越优。

2.5 模型测试结果与分析

通过相关数据的统计, 得出模型非均匀分布节点随机负载均衡性优化效果测试数据, 见表 2。

将表 2 中的数据代入式 (12), 计算得出传统模型下节点负载偏差指数的平均值分别为 0.200 和 0.188, 而优化设计模型下节点负载偏差指数的平均值为 0.002。另外, 负载均衡性优化模型应用性能的测试对比结果如图 6 所示。

从图 6 可以直观地看出, 与传统负载均衡模型相比, 通过优化设计模型的应用, 复杂建筑群物联网的拥塞概率明显降低, 同时网络吞吐量得到提升。由此证明, 优化设计复杂建筑群物联网非均匀分布节点随机负载均衡性优化模型具有较高的应用性能。

3 结束语

复杂建筑群物联网是实现建筑智能管理与运行的重要举措, 以提高复杂建筑群物联网运行安全性与稳定性为目的, 设计了非均匀分布节点随机负载均衡性优化模型。该模型能够实现对各个节点负载量的精准计算与调度, 从而保证物联网环境中多节点的负载平衡。从实验结果可知, 设计的负载均衡性模型具有量化的优化效果, 对于物联网的稳定运行具有积极作用。但目前所设计的模型缺乏在复杂建筑群物联网中实现异构网络

表 2 模型非均匀分布节点随机负载均衡性优化效果测试数据

物联网节点编号	基于 LSTM 的负载均衡模型下的节点实际负载量/GB	基于粒子群优化算法的负载均衡模型下的节点实际负载量/GB	复杂建筑群物联网非均匀分布节点随机负载均衡性优化模型下的节点实际负载量/GB
Z1	92.8	93.5	103.5
Z2	97.2	98.4	103.4
Z3	100.3	101.2	103.2
Z4	102.8	104.3	103.7
Z5	106.9	106.7	103.3
Z6	113.3	112.8	103.5
Z7	103.0	103.1	103.4

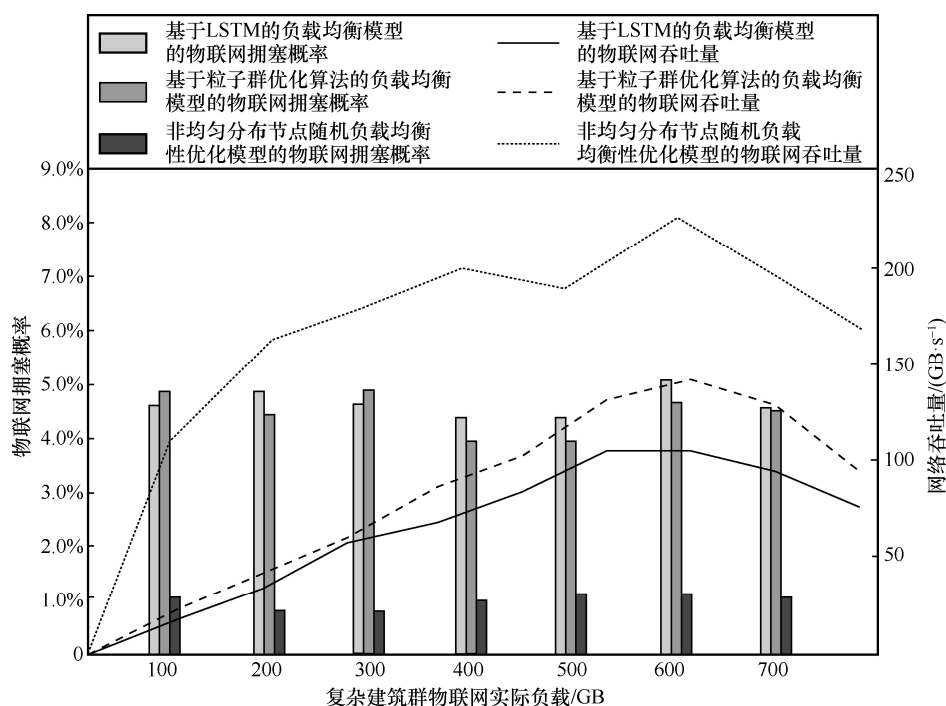


图6 负载均衡性优化模型应用性能测试对比结果

负载均衡的考虑,网络资源利用效率有待提升。在未来研究中,在模型中融入不同类型网络资源的负载均衡算法异构网络选择机制。通过监测和评估无线网络、有线网络和蜂窝网络的负载情况,动态调整节点的连接策略,在不同网络之间进行智能切换和负载均衡,以实现网络资源的全面利用。

参考文献:

- [1] 吴海超, 王新民. 物联网低时延云雾混合网络负载均衡策略[J]. 计算机工程与设计, 2021, 42(12): 3323-3332.
WU H C, WANG X M. Load balancing strategy for IoT in low delay cloud-fog hybrid network[J]. Computer Engineering and Design, 2021, 42(12): 3323-3332.
- [2] 王双, 高悦, 吴小波, 等. 城市设计推动文化建筑群城市空间建设的思考[J]. 建筑科学, 2022, 38(5): 28-35.
WANG S, GAO Y, WU X B, et al. Thoughts on urban design promoting the formation of urban space of cultural building groups[J]. Building Science, 2022, 38(5): 28-35.
- [3] 令振飞, 刘涛, 杜萍, 等. 样本数量不平衡下的建筑群模式识别方法研究[J]. 地球信息科学学报, 2022, 24(1): 63-73.
LING Z F, LIU T, DU P, et al. Pattern recognition of regular buildings with unbalanced sample size[J]. Journal of Geo-Information Science, 2022, 24(1): 63-73.
- [4] 邓章, 陈毅兴. 基于 GIS 和历史卫星影像的城市建筑大数据识别[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2022, 49(5): 215-222.
DENG Z, CHEN Y X. Identification of city-scale building information based on GIS datasets and historical satellite imagery[J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences), 2022, 49(5): 215-222.
- [5] 梁花, 李洋, 雷娟, 等. 基于模糊证据理论的物联网节点评估方法研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2022, 47(3): 111-124.
LIANG H, LI Y, LEI J, et al. Research on evaluation method of Internet of things nodes based on fuzzy evidence theory[J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2022, 47(3): 111-124.
- [6] 朱子豪, 刘光杰. 一种面向物联网节点的动态信任评估模型[J]. 重庆理工大学学报(自然科学版), 2022, 36(7): 188-196.
ZHU Z H, LIU G J. Dynamic trust assessment model for Internet of things node[J]. Journal of Chongqing Institute of Technology, 2022, 36(7): 188-196.
- [7] 高旗, 吕娜, 缪竞成. 基于负载均衡的无线虚拟网络映射算法[J]. 计算机应用, 2022, 42(10): 3148-3153.
GAO Q, LYU N, MIAO J C. Wireless virtual network embedding algorithm based on load balance[J]. Journal of Computer Applications, 2022, 42(10): 3148-3153.
- [8] 田真真, 蒋维, 郑炳旭, 等. 基于服务器集群的负载均衡优化调度算法[J]. 计算机科学, 2022, 49(S1): 639-644.

- TIAN Z Z, JIANG W, ZHENG B X, et al. Load balancing optimization scheduling algorithm based on server cluster[J]. Computer Science, 2022, 49(S1): 639-644.
- [9] 贺鹏飞, 范鹏飞, 尹千慧, 等. 基于负载均衡算法的 Hyperledger Fabric 共识机制研究[J]. 计算机工程, 2022, 48(11): 170-176.
- HE P F, FAN P F, YIN Q H, et al. Research on Hyperledger Fabric consensus mechanism based on load balancing algorithm[J]. Computer Engineering, 2022, 48(11): 170-176.
- [10] 包海东, 冀保峰, 董春红, 等. 基于物理层安全的负载均衡中继选择算法[J]. 河南科技大学学报(自然科学版), 2022, 43(5): 42-49, 56.
- BAO H D, JI B F, DONG C H, et al. Load balancing relay selection algorithm based on physical layer security[J]. Journal of Henan University of Science & Technology (Natural Science), 2022, 43(5): 42-49, 56.
- [11] 汪文豪, 史雪荣. 基于异构 Flink 集群的节点优先级调度策略[J]. 计算机工程, 2022, 48(3): 197-203.
- WANG W H, SHI X R. Node priority scheduling strategy based on heterogeneous flink cluster[J]. Computer Engineering, 2022, 48(3): 197-203.
- [12] 张翼, 蔡磊, 霍如, 等. 基于 LSTM 的标识解析节点负载均衡算法[J]. 复旦学报(自然科学版), 2021, 60(1): 27-35.
- ZHANG Y, CAI L, HUO R, et al. A LSTM-based load balancing algorithm for identity resolution nodes[J]. Journal of Fudan University (Natural Science), 2021, 60(1): 27-35.
- [13] 秦剑华, 杨穆天, 路永玲, 等. 面向电力物联网三维空间几何信道建模的研究[J]. 电子与信息学报, 2022, 44(9): 3051-3057.
- QIN J H, YANG M T, LU Y L, et al. Research on three-dimensional geometry-based channel modeling for power Internet of Things communications[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2022, 44(9): 3051-3057.
- [14] 郑涛, 蒙祖尧, 张宏科. 基于多信道绑定的应急终端协同方法[J]. 电子学报, 2022, 50(11): 2645-2652.
- ZHENG T, MENG Z Y, ZHANG H K. Emergency terminals coordination method based on multi-channel bonding[J]. Acta Electronica Sinica, 2022, 50(11): 2645-2652.
- [15] 李中华, 罗尚平, 王慧. D-Spillover 负载均衡的算法研究[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2020, 37(6): 7-12.
- LI Z H, LUO S P, WANG H. The research of D-Spillover load balancing algorithm[J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2020, 37(6): 7-12.
- [16] 张笑东, 夏筱筠, 吕海峰, 等. 大数据网络并行计算环境中生理数据流动态负载均衡[J]. 吉林大学学报(工学版), 2020, 50(1): 247-254.
- ZHANG X D, XIA X J, LYU H F, et al. Dynamic load balancing of physiological data flow in big data network parallel computing environment[J]. Journal of Jilin University(Engineering and Technology Edition), 2020, 50(1): 247-254.
- [17] 董谦, 马宇翔, 李俊. 边缘计算网络中面向负载均衡的调度机制[J]. 计算机应用研究, 2020, 37(3): 856-859, 867.
- DONG Q, MA Y X, LI J. Load balancing oriented scheduling scheme in edge computing network[J]. Application Research of Computers, 2020, 37(3): 856-859, 867.
- [18] 郑晓辉, 史骁, 金岩, 等. 面向用户体验的动态负载均衡算法研究[J]. 高技术通讯, 2021, 31(4): 359-366.
- ZHENG X H, SHI X, JIN Y, et al. Research on a dynamic load balancing algorithm based on quality of user experience[J]. Chinese High Technology Letters, 2021, 31(4): 359-366.
- [19] 许逸铭, 马礼, 傅颖勋, 等. 一体化网络多终端接入智能路由技术[J]. 计算机科学, 2022, 49(12): 332-339.
- XU Y M, MA L, FU Y X, et al. Intelligent routing technology for multi-terminal access in integrated network[J]. Computer Science, 2022, 49(12): 332-339.
- [20] 张虫金, 余欣. 用于物联网的 RPL 节能负载均衡方法[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2022, 44(9): 156-167.
- ZHANG C J, YU X. A new load balancing method of routing protocol for low power lossy network for IoT[J]. Journal of Southwest University (Natural Science), 2022, 44(9): 156-167.
- [21] 罗宏等, 蓝耿, 聂良刚, 等. 利用多粒度粗糙集属性约简和 TOPSIS 的 IPv6 负载均衡机制[J]. 计算机应用研究, 2021, 38(2): 534-538, 543.
- LUO H D, LAN G, NIE L G, et al. Load balancing mechanism using multi-granularity rough set attribute reduction and TOPSIS for IPv6[J]. Application Research of Computers, 2021, 38(2): 534-538, 543.
- [22] 黄凯, 翟广心, 韩璟琳, 等. 面向配网变压器群集的负载均衡优化方法研究[J]. 电力系统及其自动化学报, 2021, 33(7): 113-119.
- HUANG K, ZHAI G X, HAN J L, et al. Research on load balancing optimization method for distribution transformer cluster in distribution grid[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2021, 33(7): 113-119.
- [23] 李华东, 张学亮, 王晓磊, 等. Kubernetes 集群中多节点合作博弈负载均衡策略[J]. 西安电子科技大学学报, 2021, 48(6): 16-22, 122.
- LI H D, ZHANG X L, WANG X L, et al. Multi-node coopera-



- tive game load balancing strategy in the Kubernetes cluster[J]. Journal of Xidian University, 2021, 48(6): 16-22, 122.
- [24] 徐浩桐, 黄山, 孙国璋, 等. 面向云环境的 Flink 负载均衡策略[J]. 计算机工程与科学, 2022, 44(5): 779-787.
- XU H T, HUANG S, SUN G Z, et al. A Flink load balancing strategy for cloud environment[J]. Computer Engineering and Science, 2022, 44(5): 779-787.
- [25] 李明, 袁敏, 付康为, 等. 基于粒子群优化算法的 RPL 负载均衡研究[J]. 传感技术学报, 2020, 33(3): 429-435.
- LI M, YUAN M, FU K W, et al. RPL load balancing based on particle swarm optimization algorithm[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2020, 33(3): 429-435.
- [26] 谭畅, 谭歆, 胡磊, 等. 云中心基于 Nginx 的动态权重负载均衡算法[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2021, 33(6): 991-998.
- TAN C, TAN X, HU L, et al. Dynamic weight load balancing method of cloud-center based on Nginx[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications (Natural Science Edition), 2021, 33(6): 991-998.
- [27] 芦娜, 栗雪娟, 吴静松. IWSNs 中的混合式共享链路调度[J]. 计算机工程与设计, 2021, 42(12): 3342-3350.
- LU N, LI X J, WU J S. Hybrid shared link scheduling in IWSNs[J]. Computer Engineering and Design, 2021, 42(12): 3342-3350.
- [28] 刘璐, 陈睿杰, 李嘉. 基于 MDT 重叠覆盖度数据的 KNN-DBSCAN 参数自适应调优研究[J]. 电信科学, 2022, 38(2): 119-129.
- LIU L, CHEN R J, LI J. Research on adaptive optimization of KNN-DBSCAN parameters based on MDT overlapping coverage data[J]. Telecommunications Science, 2022, 38(2): 119-129.

[作者简介]



郭文磊 (1984-), 男, 天水市投资发展(集团)有限公司高级工程师, 主要研究方向为工程管理、工程安全、建筑工程物联网技术应用等。