



基于多元分层感知的移动物联网区域分割算法

李忠成¹, 解 滨², 张文祥¹

(1. 浙江万里学院 智能控制技术研究, 浙江 宁波 315100; 2. 河北师范大学 计算机与网络空间安全学院, 石家庄 050024)

摘要:为解决物联网区域分割引发的低质量数据传输、高频率网络拥塞等问题,提出一种基于多元分层感知机制的高效安全区域分割算法。根据节点间数据交换的紧密程度,将网络拓扑分割为网络层、传输层和最终汇聚层,设计多元分层感知模型,增强簇头节点的更新能力。结合机会路由连通特性,设计基于机会碰撞信息提取机制的区域分割子算法,借助拉格朗日模型进行特征挖掘,提升节点机会碰撞度并优化区域分割效果。基于簇内节点关联度,构建能量-路由双因子裁决机制,实现区域信息与簇头节点的数据交互并缓解数据拥塞。实验结果表明,与基于改进移动中继和楔形合并-能量空洞消除的区域分割算法相比,该算法具有更好的网络区域分割效果及更强的数据拥塞控制能力。

关键词: 移动物联网; 区域分割; 分层感知; 关联度; 数据交互

开放科学(资源服务)标志码(OSID):



中文引用格式: 李忠成, 解滨, 张文祥. 基于多元分层感知的移动物联网区域分割算法[J]. 计算机工程, 2021, 47(9): 51-58.

英文引用格式: LI Z C, XIE B, ZHANG W X. Region segmentation algorithm for mobile Internet of things based on multi-layered perception[J]. Computer Engineering, 2021, 47(9): 51-58.

Region Segmentation Algorithm for Mobile Internet of Things Based on Multi-Layered Perception

LI Zhongcheng¹, XIE Bin², ZHANG Wenxiang¹

(1. Institute of Intelligent Control Technology, Zhejiang Wanli University, Ningbo, Zhejiang 315100, China;

2. College of Computer and Cyber Security, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050024, China)

[Abstract] To solve the problems of low data transmission quality and high-frequency congestion caused by region segmentation of Internet of Things (IoT), an efficient secure region segmentation algorithm based on multi-layered perception mechanism is proposed. Based on the tightness of data exchanges, the network topology is divided into network layer, transmission layer and final convergence layer. A network multi-layered perception model is designed to enhance the update ability of cluster head nodes. In view of the connectivity of opportunistic routing, a region segmentation sub-algorithm is designed based on the extraction mechanism for opportunistic collision information. The Lagrange method is used for feature mining to improve the opportunistic collision degree of nodes and to optimize region segmentation. Then based on the tightness of nodes within the cluster, a decision mechanism that considers both energy and routing is constructed to enable the data interactions between regional information and the cluster head node, and to alleviate data congestion. Experimental results show that the proposed algorithm has better network region segmentation performance and data congestion control ability than the region segmentation algorithms based on improved mobile relay or based on wedge merge-energy hole elimination, called MR and WM-EHP.

[Key words] Mobile Internet of Things (MIoT); region segmentation; layered perception; correlation degree; data interaction
DOI: 10.19678/j.issn.1000-3428.0060662

0 概述

随着《中国制造2025》计划的持续推动,第五代

移动通信技术与传统物联网技术正在实现深度融合,成为国民经济重要的增长极^[1]。移动物联网(Mobile Internet of Things, MIoT)作为两种技术融合

基金项目: 国家自然科学基金(61073074); 浙江省自然科学基金(LY19F020001); 河北省自然科学基金(A2018205103)。

作者简介: 李忠成(1977—),男,讲师、硕士,主研方向为无线通信、网络安全;解 滨、张文祥,教授、博士。

收稿日期: 2021-01-21 **修回日期:** 2021-03-14 **E-mail:** lizheng1977zj@sohu.com

过程中的产物,兼具高带宽低延时传输优势及数据快速搜集能力,在突发事态感知、新冠肺炎防疫、智能化工业体系部署等方面起到突出作用,且具有部署成本低特性^[2]。考虑到移动物联网节点在拓扑频繁更迭时通信中断频率较高,容易出现较严重的链路抖动现象,因此在网络部署过程中均需要对传感区域进行预分割处理,以便节点可进一步采取路由加固等措施,提高通信过程的稳定性^[3]。

在传感区域预分割研究中,国内外研究人员多数采用分簇模型^[4-5]在一定程度上提高区域分割效果,增强网络传输质量。但是,分簇模型的建立过程往往需要消耗较多的网络资源,难以对节点相遇过程进行充分评估,因此导致网络传输质量不佳,容易出现严重的传输抖动现象。为解决现有研究中存在的问题,本文基于多元分层感知机制,设计一种新的移动物联网区域高效安全分割算法。通过将网络拓扑分割为网络层、传输层、最终汇聚层等3个层次,用以衡量簇头节点与普通节点的服务能力,在此基础上充分评估移动物联网节点相遇过程中的连通特性,并结合能量与路由两个因素来设计关联度指标,以提升网络传输性能。

1 相关工作

目前,研究人员针对移动物联网区域预分割过程中的链路抖动现象,尝试在实际部署过程中利用机会路由特性进行网络优化。例如,SUJANTHI^[6]等利用节点相遇过程中机会路由具有的机会特性,提出一种基于矢量消息广播算法的移动物联网区域分割方案。该方案根据拓扑更迭频繁程度对节点进行分级处理,将路由信息划分为频繁更迭、非频繁更迭、邻域更迭等3个层次并优先处理处于非频繁更迭、邻域更迭状态的节点,sink节点在层次划分完毕后发送路由维护矢量消息,可降低因节点移动而导致区域初始化失败的情形,网络链路抗抖动性能较优。但是,该算法需要频繁在网络中采取广播方式进行信令发送,导致网络拥塞控制能力较差,在节点处于高速移动状态时的网络性能下降幅度较大。

由于节点移动过程中存在紧密接触现象,因此研究人员在机会路由的基础上,进一步利用监测机制优化网络区域成型过程,并降低节点能量消耗。例如,DWIVEDI^[7]等考虑到移动物联网节点因数据紧密及坐标紧密程度较高而容易出现频繁链接现象,基于代理-紧密度分簇算法提出一种可大规模部署的移动物联网区域分割方法。该方法利用紧密度检测机制改进簇头节点成型过程,可将数据紧密及坐标紧密程度较高的节点纳入同一簇头节点所形成的聚类,区域分割效率较高,能显著降低节点能量消

耗,节能效果显著。然而,该算法对物联网节点在移动过程中拓扑变动情形考虑不足,导致簇头在节点处于离线状态时将频繁进行数据重传输,使得网络拥塞控制能力较差,难以适应拓扑频繁更迭的应用场景。TABATABAEI^[8]等基于簇头节点能量消耗等级次序,提出一种基于经济效益裁定机制的移动物联网区域分割算法。该算法根据簇头节点在网络中处于的能量等级,采用周期机制对能量消耗预测获取阈值,随后根据该阈值动态控制簇内及簇间传输链路所隶属的区域,可优选簇内-簇间链路并降低传输过程中所消耗的能量。但是,该算法对高速运动节点适应性较差,在节点运动速率较高时将频繁切换链路,区域分割效果较差,容易出现严重的网络拥塞现象。

综上所述,针对现有研究中的移动物联网区域预分割问题以及实际部署过程中存在的网络拥塞及节点抖动现象,本文提出一种基于多元分层感知机制的移动物联网区域高效安全分割算法,可在有效降低网络节点抖动的情况下,改善数据拥塞现状。

2 网络多元分层感知模型设计

由于移动物联网部署过程中的节点具有高速移动特性,且拓扑结构更迭速度较快,节点移动方向存在一定的不可知性^[9],因此在应用中一般对于簇头节点进行多样化处理^[10],如图1所示。考虑到移动物联网节点数据交换程度要低于固定部署场景^[11],应充分利用各节点信息交互窗口并分析相遇信息,在完成节点特征提取后进一步予以规范化处理,从而便于实现网络区域的分割。

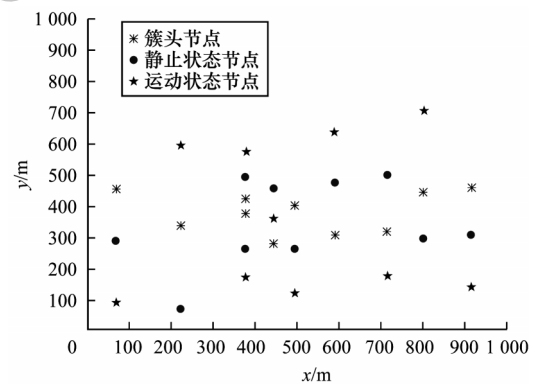


图1 移动物联网节点部署

Fig.1 Mobile IoT nodes deployment

令全网拓扑节点空间为 Ω ,任意移动物联网节点 i 均隶属于该空间。当节点 i 处于运动状态时,处于该节点覆盖半径内的节点总数为 n ,则此时的数据交互矩阵 B 为:

$$B=[S(i,1),S(i,2),\dots,S(i,n)] \quad (1)$$

其中: $\mathbf{S}(i, n)$ 表示数据交互矢量,当且仅当节点*i*与节点*n*存在数据交换关系时,将该矢量初始值设定为1,反之为0。

在网络区域分割时,若节点*i*与节点*n*之间不存在数据交换关系,则数据交换矩阵 \mathbf{B} 中的各元素均为0。本文将节点*i*设定为簇头节点,覆盖范围内的节点每次与其发生数据交换时,数据交互矢量 $\mathbf{S}(i, n)$ 的数值将增加1。显然, $\mathbf{S}(i, n)$ 的数值越高,说明簇头节点*i*与节点*n*之间的关系越紧密。

由于数据交换矩阵 \mathbf{B} 可以反映簇头节点*i*与节点*n*之间的紧密程度,因此在网络初始分割过程中需要对全网节点进行区域初始化,提取出足够数量的簇头节点。考虑到簇头节点间的数据传输情况,且sink节点只有确认接收后才能保证簇间链路的畅通性。本文多元分层感知模型由网络层、传输层、最终汇聚层构成,如图2所示。

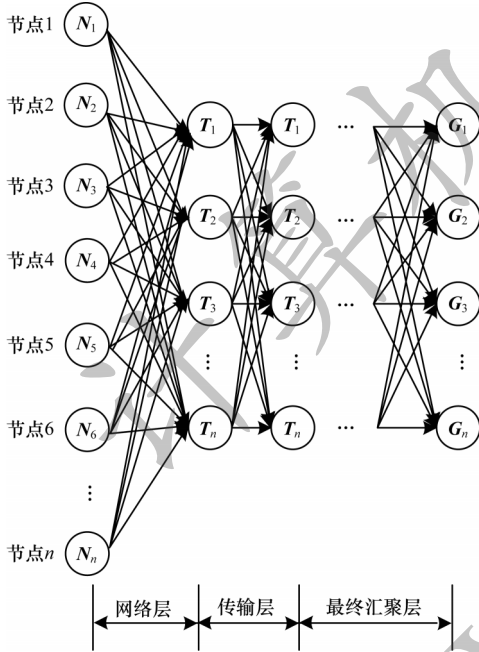


图2 多元分层感知模型

Fig.2 Multi-layered perception model

在多元分层感知模型中,网络层元素数为全网节点数,经过初始化后得到*m*个簇头节点。传输层的维数为*i*,规定网络间路由最长跳数不超过传输层维度。最终汇聚层中的路由信息为sink节点所独享,其中最终汇聚层、网络层及传输层均保持全连接状态,但各层次间内部元素均不存在数据交互连接,以便降低层次串扰而导致节点出现失效现象,提升网络分割效率。

假设网络中簇头节点个数为*i*,则网络层元素状态矢量 \mathbf{N}_i 和传输层元素状态矢量 \mathbf{T}_i 满足如下模型:

$$\mathbf{N}_i = [\mathbf{S}(i, 1), \mathbf{S}(i, 2), \dots, \mathbf{S}(i, n)] \quad (2)$$

$$\mathbf{T}_i = [\mathbf{T}(i, 1), \mathbf{T}(i, 2), \dots, \mathbf{T}(i, m)] \quad (3)$$

其中: $\mathbf{S}(i, n)$ 表示簇头节点*i*与分区区域内第*n*个节点间的数据交互矢量; $\mathbf{T}(i, m)$ 表示簇头节点*i*与第*m*个簇头节点间的数据交互矢量。

NDL模型中网络层与传输层的状态矩阵 $[\mathbf{N}_i, \mathbf{T}_i]$ 所具有的动量如式(4)所示:

$$E[\mathbf{N}_i, \mathbf{T}_i | \Omega] = \sum_{i=1}^n \alpha_i \mathbf{S}(i, n) + \sum_{j=1}^m \beta_j \mathbf{T}(j, m) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_{ij} \mathbf{S}(i, n) \mathbf{T}(j, m) \quad (4)$$

$$\Omega = (\alpha_i, \beta_i, w_{ij}) \quad (5)$$

其中: α_i 表示第*i*个分割区域内的簇头节点; β_i 表示网络中可用路由表内所查询到的簇头节点; w_{ij} 表示簇头节点 α_i 与簇头节点 β_i 之间的数据交换权值。 w_{ij} 计算公式如下:

$$w_{ij} = \frac{\mathbf{S}(\alpha_i, \beta_i)}{\sum_{n, m=1}^i \mathbf{S}(\alpha_n, \beta_m)} \quad (6)$$

其中: $\mathbf{S}(\alpha_n, \beta_m)$ 表示簇头节点 α_n 和簇头节点 β_m 之间的数据交互矢量。

当网络处于稳定传输状态时,式(5)所确定的全网拓扑节点空间 Ω 将保持稳定不变,此时全网被分割为*i*个区域,且各区域间簇头节点均存在可达链路,此时状态矩阵 $[\mathbf{N}_i, \mathbf{T}_i]$ 的二维分布 $P[\mathbf{N}_i, \mathbf{T}_i | \Omega]$ 设置如下:

$$P[\mathbf{N}_i, \mathbf{T}_i | \Omega] = \frac{1}{\Delta(\Omega)} e^{-E[\mathbf{N}_i, \mathbf{T}_i | \Omega]} \quad (7)$$

$$\Delta(\Omega) = \sum_{\mathbf{N}_i, \mathbf{T}_i} e^{-E[\mathbf{N}_i, \mathbf{T}_i | \Omega]} \quad (8)$$

由于移动物联网节点具有的高密度分布特性^[12-13],因此直接求解式(8)需要遍历全部节点并在足够长时间内进行样本训练,成本较高。为提高求解效率,考虑到网络层与传输层之间的全连接特性,且层次内元素均无数据交换关系,当网络层元素状态矢量 \mathbf{N}_i 处于确定状态时,传输层元素状态矢量 \mathbf{T}_i 也将处于确定状态,因此可根据网络层和传输层处于的确定状态将式(7)改写为如下两种形式:

$$P[\mathbf{N}_i = 1, \mathbf{T}_i | \Omega] = \frac{1}{1 + e^{-\left(\alpha_i + \sum_{j=1}^m w_{ij} \mathbf{S}(i, n)\right)}} \quad (9)$$

$$P[\mathbf{T}_i = 1, \mathbf{N}_i | \Omega] = \frac{1}{1 + e^{-\left(\beta_i + \sum_{j=1}^m w_{ij} \mathbf{T}(j, m)\right)}} \quad (10)$$

据此,可通过式(9)、式(10)对网络层及传输层状态进行估计:首先将式(2)设定的网络层元素状态矢量 \mathbf{N}_i 进行输入操作,然后代入式(9)中进行稳态化处理,如图3所示。在网络处于稳定状态后,将该结果作为传输层元素状态矢量 \mathbf{T}_i 的初始结果进行再处理,直到如式(10)所示的网络状态处于稳态为止。最终输出层状态矢量 \mathbf{G}_i 可以唯一确定网络稳态特征:

$$\mathbf{G}_i = [g_{i1}, g_{i2}, \dots, g_{im}] \quad (11)$$

其中: g_{im} 表示 sink 节点接收到的第 i 个簇头节点与第 m 个簇头节点间的数据交换次数。当 g_{im} 数值为 0 时,说明第 i 个簇头节点与第 m 个簇头节点之间不存在可达链路;当 g_{im} 数值为 k 时,说明两者间至少存在 k 次数据交换关系。

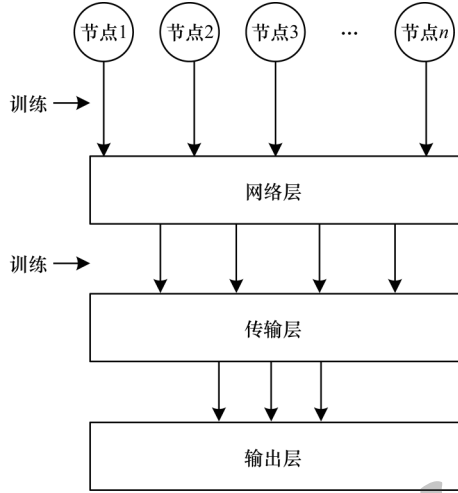


图3 模型分层训练过程

Fig.3 Model layered training process

3 移动物联网区域分割算法设计

由网络多元分层感知模型可知,当式(9)和式(10)达到稳定状态条件时,可获得最终输出层状态矢量 G_i ,通过解析该矢量对应的各分量,即能获得任意两个簇头节点间的数据交互信息。本文算法由基于机会碰撞信息提取机制的区域分割算法和基于能量-路由双因子裁决的路由稳定子算法构成。

3.1 基于机会碰撞信息提取机制的区域分割算法

当网络处于稳态时,最终输出层状态矢量 G_i 中可解析出分量,不妨设其中不为 0 的分量个数为 k ,对应的分量为 g_{ik} ,对应的簇头节点为 g_k 。将 g_{ik} 重新排序得到区域分割矢量 G'_i :

$$G'_i = [g_{i1}, g_{i2}, \dots, g_{ik}] \quad (12)$$

不妨设全网中除簇头节点外的普通节点个数为 D ,定义 H_{ij} 为普通节点 i 与簇头节点 g_j 的机会碰撞度,定义 ω_{ij} 为冗余因子,该因子可用于动态调节普通节点与簇头节点的碰撞概率。因此,机会碰撞信息提取问题可归结为目标函数 L 的拉格朗日函数优化问题:

$$L = \max \sum_{i=1}^D \sum_{j=1}^k H_{ij} \omega_{ij} \|g_{im} - g_{ik}\| \quad (13)$$

另外,式(13)应满足式(14)~式(16)设定的限制条件:

$$\sum_{i=1}^D H_{ij} < 0 \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^k H_{ij} = 1 \quad (15)$$

$$0 \leq H_{ij} \leq 1 \quad (16)$$

按照式(14)~式(16)的限制条件,对式(13)采用拉格朗日优化算法,可获取移动传感网普通节点与各簇头的机会碰撞度 H_{ij} 及相应簇头节点对应的分量 g_{jk} 如式(17)和式(18)所示:

$$H_{ij} = \frac{1}{\sum_{s=1}^k \left(\frac{\|g_{im} - g_{ik}\|}{\|g_{im} - g_{is}\|} \right)^{\frac{1}{\omega_{ij}-1}}} \quad (17)$$

$$g_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^D g_{ik} H_{ij}^{\omega_{ij}}}{\sum_{i=1}^D H_{ij}^{\omega_{ij}}} \quad (18)$$

在分簇过程中,首先随机对分量 g_{jk} 进行赋值,然后将随机分量 g_{jk} 代入式(17)、式(18)进行更新,最后任意普通节点 i 可获取 D 个冗余因子 ω_{ij} ,其中机会碰撞度最高的簇头节点 g_{dk} 为节点 i 所隶属的簇头节点,至此区域分割结束。基于机会碰撞信息提取机制的区域分割过程如图4所示。

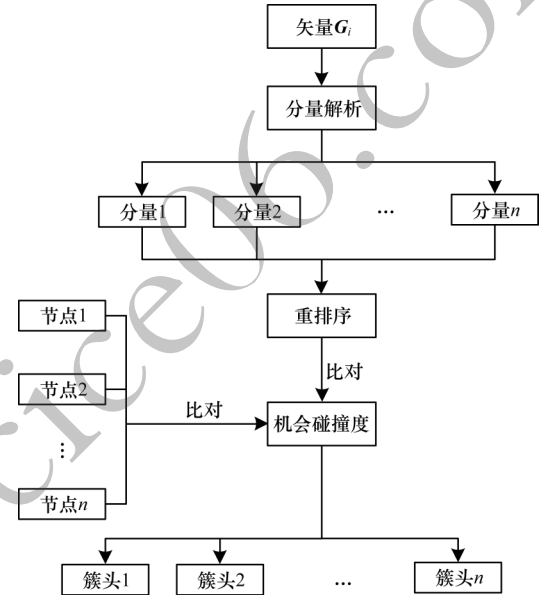


图4 基于机会碰撞信息提取机制的区域分割过程

Fig.4 Region segmentation process based on opportunity collision information extraction mechanism

当网络处于稳态时,根据机会碰撞信息提取机制解析最终输出层的状态矢量,可以高效地提取出分量对应的簇头节点,考虑到普通节点与簇头节点在运动过程中可能出现碰撞现象,可先通过式(12)得到区域分割矢量,再按照式(13)选取机会碰撞度最高的节点作为簇头节点,以提升网络对簇头节点的筛选效率,从而达到高效更新网络簇头节点的目的。此外,由于区域分割过程中将机会碰撞度最高的节点设置为簇头节点,设定簇头节点后输出层状态矢量 G_i 将保持稳定状态,规避了区域分割过程中多个节点同时竞争簇头节点所引发的物理碰撞,从而提高了网络运行的安全性能,防止因节点失效而出现网络瘫痪现象。

3.2 基于能量-路由双因子裁决的路由稳定算法

在完成基于机会碰撞信息提取机制的区域分割后,簇头节点将被唯一确定,且移动物联网中全部普通节点均已被纳入簇头节点所确定的区域内。然而由于移动物联网节点均具有移动特性,容易出现数据洪泛现象,导致安全传输的稳定性能下降^[14],因此需要采取更换机制以便能够稳定簇内数据传输^[15],据此本文设计基于能量-路由双因子裁决的路由稳定算法,具体步骤如下:

步骤1 在执行完基于机会碰撞信息提取机制的区域分割算法后,将确定的簇头节点 J_c 设定为该区域内初始簇头节点,该区域内节点个数设定为 o ,簇内任意成员节点设定为 J_o ,得到关联度 $T[J_o]$:

$$T[J_o] = \frac{\sum_{i,j=o} S(i,j)}{\sum_{i=1}^o \sum_{j=1}^o S(i,j)} \quad (19)$$

其中: $S(i,j)$ 表示任意簇内任意成员节点 i 和 j 之间存在数据交互的次数。

步骤2 由于簇头节点需要消耗较高的能量,当初始簇头节点 J_c 按照式(19)获取的关联度不再具有优势时,需要考虑对簇头节点 J_c 进行更换处理,新的簇头节点 J_d 将按照式(20)选出:

$$J_d \in \max \left[(1-\mu)T[J_d] + \mu \frac{E[J_c]}{E[J_d]} \right] \quad (20)$$

其中: μ 表示权重因子,可随机选取0~1的任意数; $E[J_c]$ 表示待更换簇头节点的剩余能量; $E[J_d]$ 表示待选簇头节点的剩余能量。

步骤3 若按式(20)选取出新的簇头节点 J_d ,则将该节点的ID进行全网广播,如图5所示。

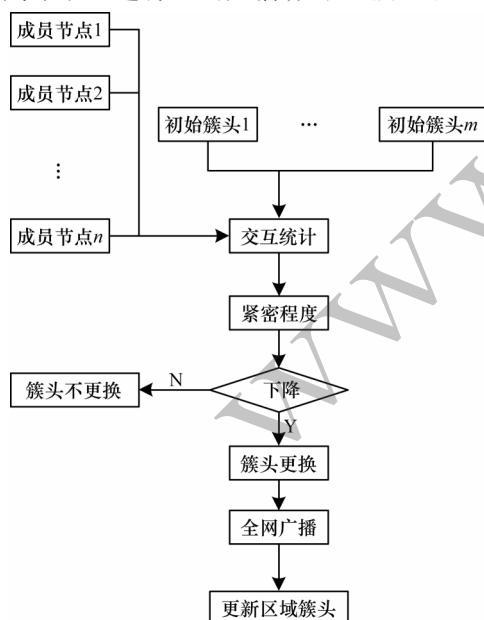


图5 基于能量-路由双因子裁决的路由稳定过程

Fig.5 Routing stability process based on energy-routing two-factor adjudication

步骤4 按步骤1~步骤3更新网络中各分区的簇头节点,同时更新传输层的元素状态矢量 T_i ,算法结束。

在实现基于能量-路由双因子裁决的路由稳定算法后,整个网络将处于稳定状态,若持续更新传输层元素状态矢量 T_i ,则将确保网络中簇头节点发生更换时,网络能及时维护所分割的区域,防止因网络拓扑结构更迭而导致分簇区域崩溃。此外,考虑到网络拓扑结构更迭容易导致节点出现离散化现象,需要网络频繁筛选簇头节点,因此采取能量-路由双因子裁决机制可显著提高节点及网络传输过程的安全系数,有效规避因路由崩溃而导致网络出现瘫痪现象,进一步提高网络运行的安全稳定性能。

4 实验与结果分析

在NS2仿真实验环境^[16-17]下验证本文算法性能。网络采用5G节点且移动速率可调节,信号调制方式为128PSK,网络部署区域为1 024 m×1 024 m,节点覆盖半径不低于20 m^[18]。对比算法为基于改进移动中继的区域分割算法MR^[19]和基于楔形合并-能量空洞消除的区域分割算法WM-EHP^[20]。性能评价指标为网络节点抖动率、网络拥塞累计次数、网络数据投递成功率。实验参数设置如表1所示。

表1 实验参数设置

Table 1 Setting of experimental parameters

| 参数名称 | 参数值 |
|---------------------------------|-------------|
| 网络节点密度/(个·100 m ⁻²) | ≥5 |
| 网络部署区域/m ² | 1 024×1 024 |
| 移动模型 | 区域分簇模型 |
| 节点通信方式 | 5G |
| 信号调制方式 | 128PSK |
| 节点移动速率/(m·s ⁻¹) | ≤30 |
| 节点覆盖半径/m | ≥20 |
| 区域分割数量 | ≥5 |
| 信道环境 | 高斯信道/莱斯信道 |
| 网络运行时间/min | ≤200 |

4.1 网络节点抖动率分析

图6给出了本文算法、MR算法和WM-EHP算法的网络节点抖动率测试结果。可以看出,本文算法在网络运行时间增加时的节点抖动率升高幅度较缓和,具有较好的节点抗抖性能,能够有效抑制节点抖动现象的发生。这是由于本文算法设计了多元分层感知模型,能够采用遍历的方式对网络节点进行初步筛选,并根据输出层、网络层参量进行簇头节点的更新,当簇头节点因能量受限等因素处于非稳定状态时,可根据权值进行簇内最优筛选,网络表现出较好的节点抖动抑制能力,可规避因簇头节点抖动

而出现的网络拥塞现象,因此网络节点抖动率增长较慢。MR算法主要基于节点连通特性对区域进行初次分割,仅采取预设簇头节点的方式对处于抖动状态的簇头节点进行更换,难以达到最优筛选的目的,因此网络节点抖动率增长较快。WM-EHP算法采取等角楔形方案对网络区域进行分割,当成员节点的单个剩余能量低于某个阈值时,动态地将一个楔形与其相邻楔形进行合并,从而降低簇头节点受限概率,但是该算法仅从拓扑层面对网络区域进行分割,未同时针对网络层及传输层动态调整网络区域并更换簇头节点,存在节点更换效率较低的问题,导致WM-EHP算法对节点抖动抑制效果不明显,因此网络节点抖动率要明显高于本文算法。

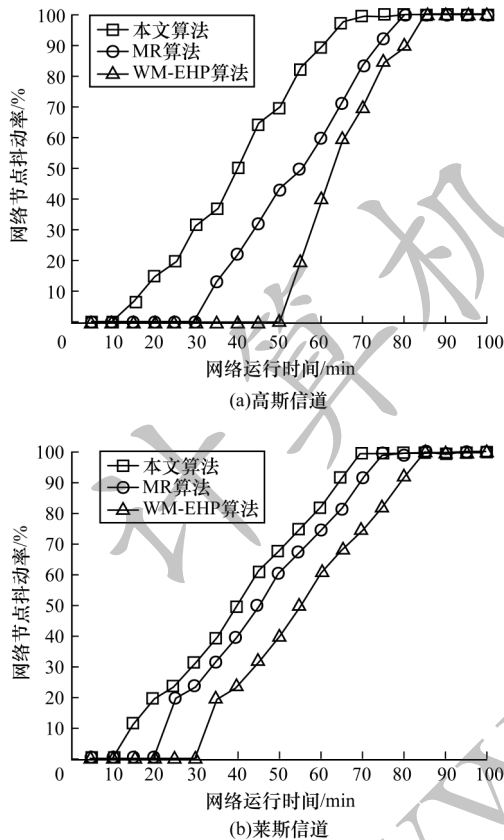


图6 3种算法的网络节点抖动率测试结果

Fig.6 Test results of network node jitter rate for three algorithms

4.2 网络拥塞累计次数分析

图7给出了本文算法、MR算法和WM-EHP算法的网络拥塞累计次数测试结果。可以看出,本文算法具有较强的网络拥塞控制能力,网络拥塞累计次数较低。这是由于本文算法设计的多元分层感知模型能够在网络区域分割过程中优选具有较好性能的簇头节点,并能通过监测簇内节点关联度的方式及时发现性能较低的簇头节点,有效规避了簇头节点受限所导致的网络拥塞问题,因此具有较好的拥

塞疏导性能,网络拥塞累计次数较低。MR算法针对网络拥塞问题,采取链路切换及数据重传模型进行流量疏导,由于该方式单纯用于缓解簇间拥塞现象,发生簇内拥塞现象时均采用数据重传模型进行多次传输,因此难以抑制网络中出现的网络拥塞现象,数据拥塞控制能力较弱。WM-EHP算法在发生网络拥塞时,需要频繁进行楔形区域分割,难以迅速筛选出性能较好的簇头节点,因此网络拥塞控制能力也差于本文算法,网络拥塞累计次数较高。

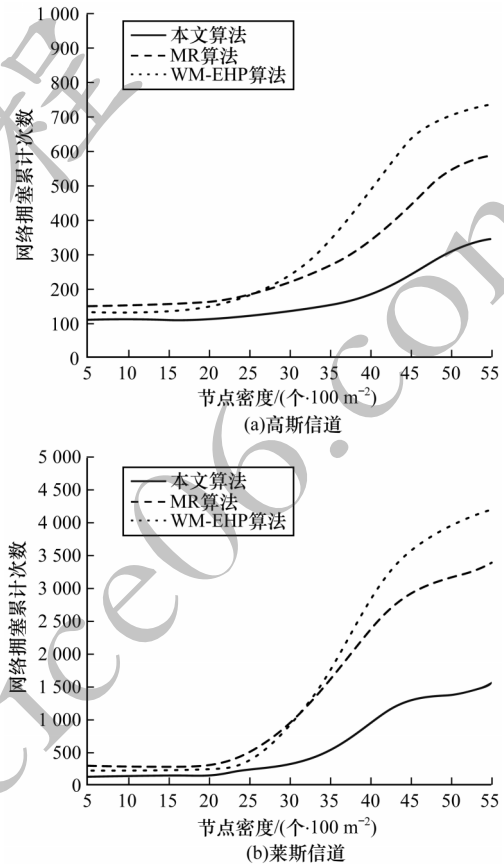


图7 3种算法的网络拥塞累计次数测试结果

Fig.7 Test results of accumulated times of network congestion for three algorithms

4.3 网络数据成功投递率分析

图8给出了本文算法、MR算法和WM-EHP算法的网络数据成功投递率测试结果。可以看出,本文算法的网络数据成功投递率始终处于较高水平,具有较好的数据传输能力。这是由于本文算法在基于机会碰撞信息提取机制的区域分割过程中充分利用了多元分层感知模型,优化网络分区结构与路由传输质量,特别是考虑到移动物联网节点具有的高速移动特性,通过基于能量-路由双因子裁决的路由稳定算法优化簇内传输架构,并及时更换网络数据传输性能不佳的簇头节点,因此具有较高的网络数据成功投递率。MR算法在出现网络数据拥塞现象

时,仅采取链路切换及数据重传方式进行投递,数据拥塞抑制能力较差,网络数据成功投递率较低。WM-EHP算法主要通过楔形优化方式进行区域重分割,在出现大面积数据拥塞现象时将对整个网络区域进行再次分割,存在针对性不强的问题,因此该算法网络数据成功投递率也低于本文算法。

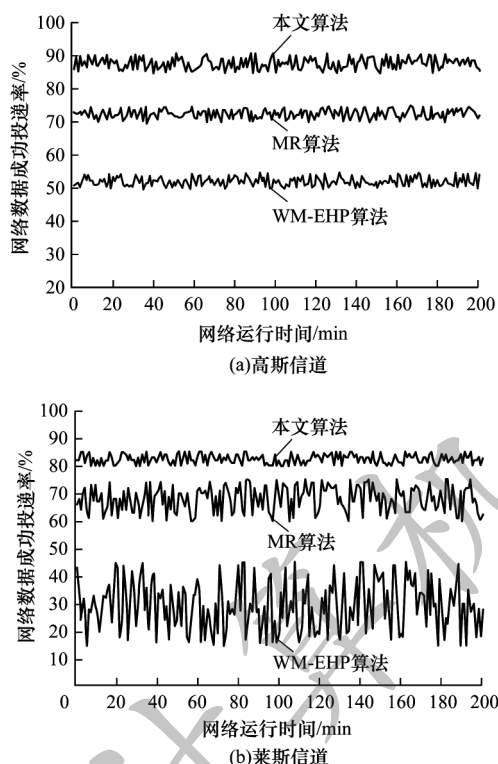


图8 3种算法的网络数据成功投递率测试结果

Fig.8 Test results of successful delivery rate of network data for three algorithms

4.4 结果分析

与已有研究相比,本文算法具有以下优势:1)网络节点抖动抑制效果较好,引入遍历的方式筛选网络节点,并根据输出层、网络层参量更新簇头节点,所选节点传输性能较好,大幅降低了网络节点抖动率;2)网络拥塞控制能力较强,优选性能优越的节点并将其设置为簇头节点,采取监测簇内节点关联度的方式观察簇头节点性能,可有效改善因簇头节点受限所导致的网络拥塞现象;3)网络数据成功投递率较高,将节点高速移动特性纳入传输架构的评估过程中,通过能量-路由双因子对传输路由进行优化,及时更换传输性能受限的簇头节点,因此拥塞疏导能力较强,网络数据成功投递率较高。

5 结束语

针对现有移动物联网区域分割算法存在的节点抖动抑制效果、网络拥塞控制能力较差等问题,本文

提出一种基于多元分层感知机制的移动物联网区域高效安全分割算法。根据节点间数据交换的紧密程度设计多元分层感知模型,优化区域分割过程中的簇头节点筛选。构建基于机会碰撞信息提取机制的区域分割子算法和基于能量-路由双因子裁决机制的路由稳定子算法,利用节点机会路由连通特性提取相关碰撞信息,采用拉格朗日模型挖掘节点核心特征、密切交互区域信息与簇头节点数据,保证传输链路的稳定性,解决了簇头节点受限而导致的网络拥塞问题。实验结果表明,与主流区域分割算法相比,该算法具有更好的网络拥塞控制能力和数据成功投递率。后续可将本文算法应用于高速移动场景,通过引入立体传感拓扑改善因节点高速移动而产生的数据报文丢失问题,进一步提升其对于各种复杂环境的应对能力。

参考文献

- [1] WEN S X, GUO G, CHEN B, et al. Transmission power scheduling and control co-design for wireless sensor networks [J]. *Information Sciences*, 2018, 442 (17): 114-127.
- [2] CHANG J Y, JENG J T, SHEU Y H, et al. An efficient data collection path planning scheme for wireless sensor networks with mobile sinks [J]. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2020, 257: 1108-1117.
- [3] GANDHIMATHI L, MURUGABOOPATHI G. Mobile malicious node detection using mobile agent in cluster-based wireless sensor networks [J]. *Wireless Personal Communications*, 2021, 117(2): 1209-1222.
- [4] 卫岚宁, 林海, 王磊. 基于改进近邻传播算法的无线传感网分簇与节能[J]. *计算机应用与软件*, 2018, 35(5): 196-201.
- [5] WEI L N, LIN H, WANG L. Wireless sensor network clustering and energy saving based on improved affinity propagation [J]. *Computer Applications and Software*, 2018, 35(5): 196-201. (in Chinese)
- [6] 秦宁宁, 张伟杰. 异质传感网中基于自适应簇半径的高效组网算法[J]. *传感技术学报*, 2019, 32(8): 1232-1238, 1252.
- [7] QIN N N, ZHANG W J. Adaptive radius cluster-networking algorithm in heterogeneous sensor network [J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2019, 32(8): 1232-1238, 1252. (in Chinese)
- [8] SUJANTHI S, NITHYA KALYANI S. SecDL: QoS-aware secure deep learning approach for dynamic cluster-based routing in WSN assisted IoT [J]. *Wireless Personal Communications*, 2020, 114(3): 2135-2169.
- [9] DWIVEDI R K, KUMAR R. An energy and fault aware mechanism of wireless sensor networks using multiple mobile agents [J]. *International Journal of Distributed Systems and Technologies*, 2020, 11(3): 22-41.
- [10] TABATABAEI S, RIGI A M. Reliable routing algorithm

- based on clustering and mobile sink in wireless sensor networks[J]. Wireless Personal Communications, 2019, 108(4): 2541-2558.
- [9] DING X J, CHEN W P, WANG Y C, et al. Efficient scheduling of a mobile charger in large-scale sensor networks[J]. Theoretical Computer Science, 2020, 840: 219-233.
- [10] YAO J B, YANG C Q. Data aggregation privacy in WSN [C]//Proceedings of the 2nd International Conference on Communication, Network and Artificial Intelligence. Guangdong: [s. n.], 2019: 968-973.
- [11] WEN S X, GUO G, CHEN B, et al. Transmission power scheduling and control co-design for wireless sensor networks [J]. Information Sciences, 2018, 442 (17) : 114-127.
- [12] CHINCOLI M, LIOTTA A. Self-learning power control in wireless sensor networks[J]. Sensors, 2018, 18(2): 375.
- [13] 常铁原, 张炎, 闫艺萍, 等. 一种新型能耗优化的无线传感器网络成簇算法[J]. 小型微型计算机系统, 2020, 41(1): 98-103.
- CHANG T Y, ZHANG Y, YAN Y P, et al. New energy-optimized wireless sensor network clustering algorithm[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2020, 41(1): 98-103. (in Chinese)
- [14] 李翠然, 李昂. 太阳能补给的线型 WSN 能量高效路由算法[J]. 计算机工程, 2020, 46(9): 178-185.
- LI C R, LI A. Energy efficient routing algorithm for linear WSN with solar energy harvesting[J]. Computer Engineering, 2020, 46(9): 178-185. (in Chinese)
- [15] NAGARAJAN R, DHANASEKARAN R. Energy efficient data transmission approaches for wireless industrial automation[J]. Current Signal Transduction Therapy, 2018, 13(1): 37-43.
- [16] LÜ J X, LIAO H H. Multi-hop LEACH protocol for partitioned large-scale wireless sensor networks[J]. Journal of Jinggangshan University (Natural Science Edition), 2017, 12(6): 38-42.
- [17] ANSAR H, NOOR M S. Bandwidth utilization efficiency enhancement for OFDM-based WSN [J]. International Journal of Communication Systems, 2018, 31(15): 1-23.
- [18] MOHAISEN L F, JOINER L L. Interference aware bandwidth estimation for load balancing in EMHR-energy based with mobility concerns hybrid routing protocol for VANET-WSN communication [J]. Ad Hoc Networks, 2017, 66: 1-15.
- [19] GUPTA N, PAWAR P M, JAIN S. Improve performance of wireless sensor network clustering using mobile relay[J]. Wireless Personal Communications, 2020, 110(2): 983-998.
- [20] SHARMIN N, KARMAKER A, LAMBERT W L, et al. Minimizing the energy hole problem in wireless sensor networks: a wedge merging approach[J]. Sensors, 2020, 20(1): 277.

编辑 陆燕菲