

应急通信网络中基于粒子群优化的信道分配算法



刘 炜^{1,2} 李东坤¹ 徐 畅¹ 田 钊¹ 余 维^{1,2}

1 郑州大学软件学院 郑州 450000

2 郑州大学互联网医疗与健康服务河南省协同创新中心 郑州 450000

(wliu@zzu.edu.cn)

摘 要 当前应急通信亟需解决的问题,在于如何快速有效地满足突发性增长的网络需求,以保证网络传输质量。无线 mesh 网络以其部署快速、结构灵活、鲁棒性等优点,成为了新一代灾后应急通信网络架构的优秀解决方案。文中提出了一种基于粒子群算法的信道分配优化算法 PWCA,在降低全局网络干扰的前提下,考虑了不同链路对整体网络表现的影响,通过其邻接链路的数量来决定信道分配的优先级。在迭代优化的过程中,该算法利用信道分离度细分了不同信道之间的干扰程度以作为优化的评判标准。实验结果表明,该算法可以显著降低网络干扰,保障网络性能,相比传统的粒子群信道分配算法,其在优化速度以及多节点网络环境下的表现均有明显提升。

关键词: 无线 Mesh 网络;信道分配;网络干扰;信道分离度;粒子群算法

中图法分类号 TP393

Channel Assignment Algorithm Based on Particle Swarm Optimization in Emergency Communication Networks

LIU Wei^{1,2}, LI Dong-kun¹, XU Chang¹, TIAN Zhao¹ and SHE Wei^{1,2}

1 School of Software, Zhengzhou University, Zhengzhou 450000, China

2 Collaborative Innovation Center of Internet Medical and Health Services, Zhengzhou University, Zhengzhou 450000, China

Abstract How to quickly and effectively meet the rapidly increasing network demand and ensure the quality of network transmission is the problem in emergency communications that needs to be solved urgently. The wireless mesh network is the choice of a new generation of post-disaster emergency communication network architecture. This paper proposes a particle swarm optimization-based channel allocation algorithm that considers the impact of different links on the overall network performance under the premise of reducing global network interference. The priority of channel allocation is determined by the number of adjacent links. In the process of iteration, the channel separation is used to subdivide the degree of interference between different channels as the criterion for optimization. The experimental results show that the proposed algorithm can significantly reduce network interference and ensure network performance. Compared with the traditional particle swarm allocation algorithm, its optimization speed and performance are significantly improved in the multi-node network environment.

Keywords Wireless mesh network, Channel allocation, Network interference, Channel separation, Particle swarm optimization

近年来,由于极端自然灾害频发,世界范围内的研究者们对如何进行灾后救援、最大限度降低灾后损失进行了深入研究。作为保证灾后紧急救援的重要倚仗,通信系统往往会因为自然灾害陷入瘫痪,灾区内外无法及时进行通信,这既加剧了灾区群众的恐慌心理,又对救援工作的开展造成了极大的困难。传统的通信系统在灾后环境中重建的速度难以令人满意,尤其在面对灾后的复杂环境,以及爆发式的集中性网络请

求的情况下,无法满足此背景下激增的通信需求。因此,如何部署一种快速、稳定、高效的应急通信网络,有效应对灾区域内的通信需求,对安抚灾区群众情绪、提高灾后搜救效率,有着极其重大的意义^[1-2]。无线 mesh 网络(Wireless Mesh Network, WMN)是一种新型的无线网络架构,其因自组织、扩展性、高速率等优点,以及在实际应用中的组网速度、网络吞吐量、成本控制等方面的优良表现,成为目前互联网“最后一英

到稿日期:2020-04-10 返修日期:2020-07-17 本文已加入开放科学计划(OSID),请扫描上方二维码获取补充信息。

基金项目:国家自然科学基金(61602422);国家重点研发计划(2018YFB1201403);河南省高等学校重点科研项目(20A520035);河南省高等学校青年骨干教师项目(2019GGJS018);赛尔网络下一代互联网技术创新项目(NGII20190707)

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China(61602422), National Key Research and Development Program of China(2018YFB1201403), Henan Province Foundation for University Key Project(20A520035), Henan Province Foundation for University Key Youth Teacher(2019GGJS018) and CERNET Innovation Project(NGII20190707).

通信作者:余维(wshe@zzu.edu.cn)

里”的重要选择^[3]。近年来,国内外的研究集中于在不同的应用场景下,验证它在复杂环境下的网络性能。实践结果表明,无线 mesh 网络适合作为灾后重建网络的优选方案。

根据无线 mesh 网络的结构特点,可以将其分为 3 层结构,如图 1 所示,分别是互联网层、网关路由组成的骨干网络层,以及接入终端层^[4]。其中,第二层骨干网络层在互联网与用户终端之间不但起着信息传递与交换的作用,还与网络全局的吞吐量、通信质量等方面紧密相关,是无线 mesh 网络的核心部分^[5]。在骨干网中,如果相邻的链路在网络工作中使用同一条信道,那么相互之间便会产生网络干扰。网络干扰是影响网络整体性能的主要问题,它不仅会降低整体网络的吞吐量,还会对网络通信时延以及网络丢包率等产生负面影响^[6]。在无线 mesh 网络中,随着网络节点的增多,节点之间相互干扰的情况也会愈发严重。信道分配算法专注于解决此类问题,构建合适的策略,将有限的信道资源合理地分配给网络节点,是降低网络干扰、提高网络吞吐量的关键技术^[7]。

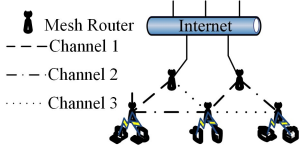


图 1 无线 mesh 网络架构图
Fig.1 Wireless mesh network architecture

本文立足于如何基于无线 mesh 网络进行灾后通信系统的重建,重点解决无线 mesh 网络中多接口多信道的分配问题。为降低网络干扰,提高网络吞吐量,保证网络稳定,本文提出了一种基于权重的粒子群优化算法,通过链路的邻接链路个数来定义不同链路在算法优化中的优先级,构建适应度模型进而对网络全局进行优化,获得信道分配的最优方案。

1 相关工作

无线 mesh 网络的网络性能,尤其是作为网络质量关键评价标准的网络吞吐量与可靠性,与链路信道分配的结果紧密相关。如何通过规划将有限的信道合理有序地进行分配,是一个非常复杂的问题^[8]。

近年来,在无线 mesh 网络信道分配的研究中,基于人工智能的思想解决此问题是一个热点。文献[9]对几种常用的无线 mesh 网络信道分配算法以及无线 mesh 网络中信道间的干扰进行了分析,提出了一种基于最小化干扰的无线 mesh 网络信道分配算法。文献[10]提出了一种基于流量感知的固定 C-HYA 信道分配算法,该算法采用了改进的贪婪算法规避波纹效应,优化了传统贪婪算法在信道分配策略中的表现。文献[11]通过减小网络的干扰度来提高网络吞吐量,提出了一种基于各链路干扰度的 CLICA 算法,有效降低了网络干扰。文献[12]针对应急通信网络存在的问题,提出了一种基于干扰避免和拓扑分层的多信道分配算法,降低了网络通信中的传输干扰。文献[13]考虑到不同节点在网络拓扑中的位置和节点邻接情况,定义了一种新的总干扰函数,提出了一种基于遗传算法的信道分配策略。

基于人工智能的思想进行 WMN 的信道分配优化得到的结果,证明了人工智能算法在此问题中的可行性。其中,粒

子群算法是一种被广泛使用的人工智能算法,通过对鸟群觅食行为的模拟,各个种群粒子在求解空间中利用全局信息的共享完成从无序到有序的过程,从而获得最优解。作为一种启发式优化算法,它有着相比大部分人工智能算法更为简单的规则设置,具有实现容易、精度高、收敛快等优点。基于粒子群算法解决网络信道分配的相关研究也在不断深入,文献[14]探讨了粒子群算法在无线 mesh 网络中作为基础算法思想的可行性,结合交叉操作,提出了一种离散粒子群优化算法(Discrete Particle Warm Optimization, DPSO)对信道分配方案进行优化。文献[15]将每一条链路分配信道的方案视为一个粒子,提出了一种基于粒子群算法的信道分配优化方法,得到了最优信道分配策略。文献[16]在降低干扰的前提下,综合考虑了链路传输速度带来的影响,提出了一种 PSOCA (Particle Swarm Optimization Channel Allocation Algorithm) 算法,降低了全局干扰。文献[17]结合了网关位置与冲突域思想,完善了网络干扰模型,提出了一种最小化干扰的网关部署与信道分配联合算法。

综上所述,当前对无线 mesh 网络中多信道分配的研究中,降低网络全局干扰是首要考虑的方面,但大部分的算法只是简单量化全局干扰,并对其进行优化。考虑到灾后应急网络的特殊网络环境,如何细分信道之间的干扰程度,以及区分不同链路在网络通信保障中的重要性,是无线 mesh 网络作为应急网络的关键。本文从降低网络干扰,提高网络吞吐量的目标入手,综合考虑链路相关系数与链路权重,通过对粒子群算法进行优化来降低网络干扰,保证网络通信质量。

2 网络模型

结合 WMN 特点以及实际部署场景,构建 WMN 骨干网络模型对信道分配问题进行形式化描述,符号说明如表 1 所列。

表 1 相关符号的说明

symbol	meaning
$G(V,E)$	Undirected graph of nodes and links
$d(v_i,v_j)$	Distance between v_i and v_j
V	Node collection
E	Radio link collection
r	Communication range of nodes
K_i	Number of available interfaces
OLM	Ordered link matrix
ALM	Adjacent link matrix
LCS	Link channel separation
$w_{i,j}$	Link weight
$l_{e_{i,j},e_{u,v}}$	Channel separation between links

WMN 骨干网表示为 $G(V,E)$,节点集合表示为 $V=(v_1,v_2,\cdots,v_m)$,链路集合为 $E=(e_1,e_2,\cdots,e_m)$ 。假设所有节点分布在一个二维平面上,节点不具有移动性,每个节点有 K 个可用的无线接口,网络中的可用信道数为 C 。在实际的应用中,一个射频接口最多只能同时连接一条链路,为了能有效利用信道,最大限度满足分配方案,设置节点射频接口数不低于可用信道数,即 $C\leq K$ 。设置节点之间的通信距离为 r ,在此距离之内的节点可以相互通信。相邻链路之间若分配相互影响的信道则会对网络通信造成不同程度的干扰。

目前,描述网络干扰的模型主要有物理干扰模型和协议干扰模型。其中,物理模型根据信号接收端的信噪比来反映

节点之间的干扰,在复杂网络环境下,存在计算量过大的问题,难以被应用于大规模网络研究中;协议干扰模型为 0/1 干扰模型,当相邻的无线网络链路被分配到非正交信道时,则互相之间存在干扰,考虑到灾后网络环境,本文采用协议干扰模型。本文在建立干扰模型的过程中,通过对网络拓扑图的上三角进行遍历,建立有序链路矩阵,便于确定各个链路在信道分配方案中的优先级,以及对信道分配结果进行评价。

在无线 mesh 网络的实际工作环境中,不同链路中的流量负载是不同的,一般情况下,相邻链路越多的链路,网络流量越高,因此不同链路对整体网络产生的影响也有区别。灾后网络需求的爆炸性增长会加剧这种情况,重要链路的网络拥塞甚至有可能造成大面积的网络瘫痪,影响救援工作。

为了精确地将不同链路在网络中的重要性进行区别和记录,本文通过网络拓扑图定义有序链路矩阵,确定整体网络情况。

定义 1(网络拓扑图(Network Diagram, NG)) 确定网络环境中节点之间的联通情况,若节点之间的距离在通信距离 r 内,则认为在两者之间存在无线链路,但超过通信距离的节点之间无法进行网络通信。网络拓扑图矩阵定义为:

$$NG(v_i, v_j) = \begin{cases} 1, & v_i \neq v_j \cap d(v_i, v_j) \leq r \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

定义 2(有序链路矩阵(Ordered Link Matrix, OLM))

在 **NG** 中确定了链路的存在情况,按照从左至右、由上而下的顺序遍历矩阵的上三角非零点,以保证在此矩阵中记录的链路 $e_{i,j}$ 中总有 $i < j$,从 **NG** 中有序标记网络中的链路为:

$$OLM(e_{i,j}) = \begin{cases} 1, & NG(v_i, v_j) = 1 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

定义 3(链路邻接矩阵(Link Adjacency Matrix, LAM))

根据上三角遍历的特点,对于 **OLM** 中的任意链路 $e_{i,j}$,均有 $i < j$,且 i 不小于其在 **OLM** 之前的链路首节点,不大于之后的链路首节点。构建链路邻接矩阵需要基于每个链路的邻接情况,对于链路 $e_{i,j}$,以 $OLM(e_{i+1,0}), OLM(e_{j,0})$ 为界将 **OLM** 分为 3 部分,在第一部分将链路的两两节点对比进行异或运算,在剩下的两个部分对单节点进行 1/0 判定,这在逻辑上相当于遍历了一次 **OLM**,并从中记录了 $e_{i,j}$ 的链路邻接情况。相比传统的全部进行节点异或运算的方式,该方法大大降低了构建链路邻接矩阵部分的复杂性。以 $e_{i,j}$ 为例,从 **OLM** 中记录它的邻接链路具体过程可以分为如下 3 个部分,其中, $OLM(e_{u,v})$ 表示在遍历过程中与 $e_{i,j}$ 进行对比的链路。

在第一段($OLM(e_{0,0}), OLM(e_{i+1,0})$)中,对其中的链路进行异或运算,记录与 $e_{i,j}$ 有且仅有一个相同节点的链路,即:

$$OLM(e_{u,v}) = \begin{cases} 1, & \text{与 } OLM(e_{i,j}) \text{ 有相同节点} \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

在第二段($OLM(e_{i+1,0}), OLM(e_{j,0})$)中,对其中的链路节点第 2 位进行遍历,记录此位为 j 的链路,即:

$$OLM(e_{u,v}) = \begin{cases} 1, & v = j \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

在剩余部分中,对其中的链路节点第 1 位进行遍历,记录此位为 j 的链路,即:

$$OLM(e_{u,v}) = \begin{cases} 1, & u = j \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

根据每条链路的邻接链路情况,得到链路邻接矩阵 **LAM**,其中, $LAM(e_{i,j}, e_{u,v})$ 表示 $e_{i,j}, e_{u,v}$ 的邻接关系,即:

$$LAM(e_{i,j}, e_{u,v}) = \begin{cases} 1, & \text{仅有一个公共节点} \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

定义 4(链路的信道分配矩阵(Link Channel Allocation Matrix, LCAM)) 每条链路分配一条信道,定义链路信道分配矩阵(其中, $e_{i,j}$ 表示链路, c 表示分配的信道),记录链路的信道分配情况,其定义如下:

$$LCAM(e_{i,j}, c) = \begin{cases} 1, & \text{信道 } c \text{ 分给了 } e_{i,j} \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

3 基于链路权重的粒子群信道分配算法

在粒子群算法中,每个解空间中的点被抽象为一个 d 维的粒子,且每一个粒子对应着由目标函数决定的适应度(fitness)。每一个粒子对应解空间中的位置,各自拥有一个速度,在迭代过程中受到不断更新的自身历史最优结果与全局最优结果的影响,不断更新速度,搜索问题的最优解。粒子群算法的重点是建立合适的适应度模型,将需要优化的目标抽象为适合的适应度函数,通过粒子群算法的思想来设计合理的迭代优化策略。

3.1 适应度模型

传统的基于粒子群优化的无线 mesh 网络信道分配算法,一般将适应度函数直接设为全局干扰或者网络吞吐量,通过对其迭代优化获得最优的信道分配方案。

针对灾后应急网络的特殊性,本文构建了一种全新的适应度模型,首先通过邻接链路的信道分离度定义了链路相关系数,量化了信道分配结果的全局干扰程度。然后,通过 **LAM** 计算每个链路邻接链路的个数,确定其在算法优化中的优先级,并将其定义为链路权重。最后,通过链路权重对信道分配后的全局干扰进行加权计算,得到适应度函数,作为本文算法的优化目标。

定义 5(链路相关系数(Link Correlation Coefficient, LCC)) 定义每条链路在网络中受到其相邻链路的干扰为 $LCC(e_{i,j})$,其通过信道分离度与信道相关性得到。信道分离度为相邻链路 $e_{i,j}, e_{u,v}$ 信道序号的差。

定义相邻链路之间的信道相关系数为 $I_{e_{i,j}, e_{u,v}}$,在 IEEE 802.11g 标准下,有 13 条可用信道,信道相关系数和信道分离度之间的关系如图 2^[18] 所示。

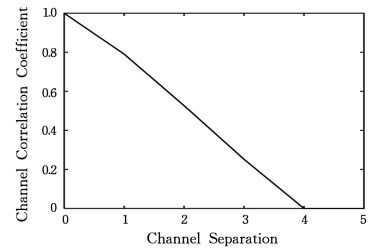


图 2 802.11g 信道的分离度和相关性

Fig. 2 Separation and correlation of 802.11g

当相邻链路 $e_{i,j}, e_{u,v}$ 之间的信道分离度为 0 时, $I_{e_{i,j}, e_{u,v}} = 1$;当相邻链路 $e_{i,j}, e_{u,v}$ 之间的信道分离度为 1 时, $I_{e_{i,j}, e_{u,v}} = 0.7906$;当相邻链路 $e_{i,j}, e_{u,v}$ 之间的信道分离度大于或等于 4 时,视其为正交信道, $I_{e_{i,j}, e_{u,v}} = 0$ 。实验结果表明,增加一定数

量可用信道的网络的表现优于只用 3 个正交信道的网络,可以提升网络的整体吞吐量^[19]。综上所述,信道分配后可以用链路相关系数表示每条链路受到其相邻链路的网络干扰,即:

$$LCC(e_{i,j}) = \sum_{j=1}^{e_m} L_{e_{i,j}, e_{a,v}} \quad (8)$$

定义 6(链路权重(Link Weight, LW)) 鉴于网络流量的汇聚特性,相邻链路越多的链路,其在实际工作中的流量相比其他链路就越多,其承载的负载也越高,对网络整体的通信情况影响就越大。信道分配对负载高的链路侧重考虑,可以保证网络稳定提升算法收敛速度。链路权重可以具体化为此条链路的相邻链路数量在全部链路中的占比,将链路 $e_{i,j}$ 的邻接链路个数,即将其在 **LAM** 中对应行中非零节点的个数记为 $L_{i,j}$,将全部链路个数记为 v_m ,则定义链路的归一化链路权重 $w_{i,j}$ 为:

$$w_{i,j} = \frac{L_{i,j}}{v_m}$$

定义 7(适应度函数(Fitness)) 粒子群算法是通过不断地迭代,更新个体历史最优与全局最优,最终收敛于最佳结果,其中,更新个体历史最优与全局最优的标准是每个粒子的适应度函数。采用适应度模型作为算法优化目标的评价函数,本文在降低网络干扰的前提下,综合了链路权重与链路相关系数的思想,将网络干扰细化。考虑了以上链路相关系数与链路邻接数量两个方面,适应度函数以网络中相邻链路的链路相关系数和链路权重为基础进行加权计算得到,即:

$$fitness = \sum_{i=1}^{e_m} w_{i,j} LCC_{e_{i,j}} \quad (10)$$

3.2 信道分配算法 PWCA

本文提出一种新的基于权重的粒子群信道分配算法 PWCA(PSO Weighted Channel assignment Algorithm)。传统的粒子群优化算法,将每个粒子直接与单个链路分配信道的结果一一对应,然而信道分配问题并非是连续函数问题,这导致其在优化速度方面的表现不佳。在 PWCA 中,每个粒子是一种信道分配方案,因此会在每次迭代中向个体历史最优与全局最优学习。种群单次迭代后,对个体历史最优与全局最优进行比较更新,不断迭代,全部粒子最终收敛于一点,该点即问题的解。在粒子群算法中,粒子的位置和速度满足:

$$\begin{cases} v_i(t+1) = c_1 v_i(t) \oplus c_2 p_i(t) \otimes x_i(t) \oplus c_3 p_g \otimes x_i(t) \\ x_i(t+1) = x_i(t) \oplus v_i(t+1) \end{cases} \quad (11)$$

其中, i 表示迭代的粒子编号; t 表示迭代次数; $v_i(t)$ 与 $x_i(t)$ 分别表示第 i 个粒子在第 t 代的速度与位置; c_1, c_2, c_3 分别表示粒子在迭代过程中,原始速度、自身历史最优结果以及全局最优结果对迭代后的粒子速度产生不同影响的系数,一般规定其均在 $[0, 1]$ 之间; $p_i(t)$ 表示第 t 次迭代后的第 i 个粒子的个体历史最优结果, p_g 表示全局最优结果。 $\oplus$ 算子表示亦或运算, $\otimes$ 算子表示乘法操作,进行 Sigmoid 随机选择过程,避免算法陷入局部最优。

每次迭代后,每个粒子均会因为自身历史最优结果以及全局最优结果的影响改变自身的速度和方向,到达新的位置,最终全部收敛于最佳结果。根据粒子群算法思想,PWCA 建立的信道分配模型可以表示为:

$$\begin{aligned} X_t^i &= c_3 \otimes F_3(c_2 \otimes F_2(c_1 \otimes F_1(X_{t-1}^i, Random(X)), P_{t-1}^i), \\ &G_{t-1}) \end{aligned} \quad (12)$$

其中, X_t^i 表示第 t 套信道分配方案中第 k 种链路分配的信道结果。粒子的每次迭代过程均分为 3 个阶段,分别为随机扰乱阶段 F_1 、个体历史最优学习阶段 F_2 、全局最优学习阶段 F_3 。

首先,在 F_1 阶段中,对粒子的迭代过程进行随机扰乱, $Random(X)$ 表示随机生成的一种信道分配,作为每次迭代开始粒子的对比目标,进一步避免算法陷入局部最优。

然后,在 F_2 阶段中用 P_{t-1}^i 表示第 $t-1$ 套信道分配方案中第 k 种链路信道分配的历史最优方案,并将其作为个体最优。与粒子进行对比,完成个体历史对粒子速度的修正。

最后,在 F_3 阶段中,用 G^{-1} 表示所有种群中第 $t-1$ 套信道分配方案中全部链路信道分配结果的最优方案,将其作为全局最优结果。粒子与其进行对比学习,完成全局学习阶段。

3.3 PWCA 算法描述

PWCA 的算法流程如图 3 所示。

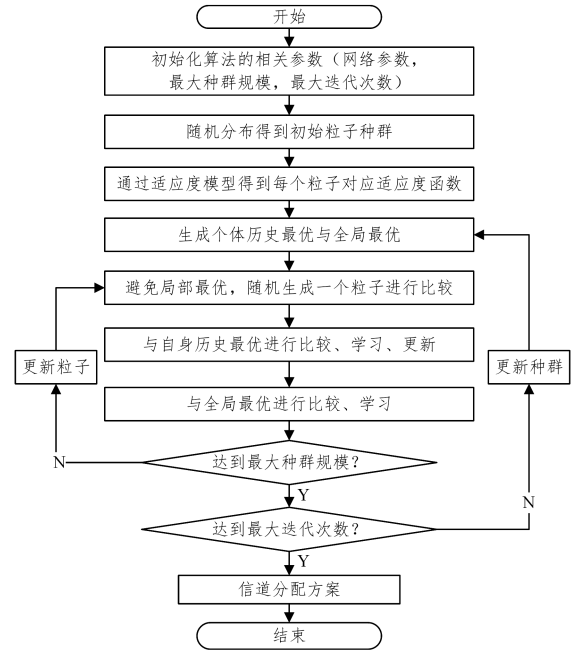


图 3 算法流程图

Fig. 3 Algorithm flowchart

该算法的循环分为粒子和种群两个部分,迭代首先进行单个粒子的更新,然后在全部粒子更新完成后对两个最优函数进行更新,完成种群的更新。通过不断对比适应度函数的结果,实现个体与群体之间的交流学习,快速得到优化方案。

PWCA 具体步骤如下。

(1)根据节点位置、通信半径确定网络拓扑,然后对 **OLM** 中的链路进行遍历,确定邻接链路矩阵,最后通过信道相关系数计算每次信道分配后每条链路的受干扰程度 $LCC(e_{i,j})$ 。

(2)通过对每条链路在 **LAM** 中的邻接链路个数进行统计,计算各自的链路权重 $w_{i,j}$ 。

(3)综合步骤(1)中的链路相关系数 $LCC(e_{i,j})$ 和步骤(2)中的链路权重 $w_{i,j}$,通过加权计算得到 PWCA 的适应度函数,在后续的迭代过程中以降低此值为优化目标。

(4)在每次迭代的开始阶段,粒子首先与自身的历史最优 $p_i(t)$ 进行对比,完成个体历史最优的更新。对种群全部粒子分别进行个体最优更新后,将最优粒子方案与全局最优 p_g 进行对比,进行全局最优更新。

(5)为避免陷入局部最优,生成完全随机的信道分配方案与粒子进行比较,若随机信道分配方案优于自身,就通过 *Sigmoid* 函数对其进行学习,完成信道分配模型中的 F_1 阶段。

(6)将粒子与自身历史最优方案 $p_i(t)$ 进行比较,若 $p_i(t)$ 方案的适应度函数更低,则通过 *Sigmoid* 函数对其学习,完成信道分配模型中的 F_2 阶段。

(7)将经过自身更新阶段后的粒子与全局最优结果 p_g 进行比较,若适应度函数更高,则通过 *Sigmoid* 函数对其进行学习,完成信道分配模型中的 F_3 阶段。

(8)输出信道分配方案。

PWCA 算法中,每个粒子在迭代更新的过程中均将进行步骤(5)一步骤(7),全部粒子更新一次后通过步骤(4)对个体历史最优与全局最优进行更新,完成数次迭代后,将得到最佳信道分配方案。具体过程如算法 1 所示。

算法 1 基于链路权重的粒子群信道分配算法

```

1. //采集节点信息,初始化参数
2. //模型参数初始化,包括种群规模 POPSIZE,最大迭代次数 MAX_Iteration
3. i=0; //初始化循环迭代变量
4. when i≤MAX_Iteration do
{
5.   初始化粒子种群 pso();
6.   初始化种群迭代变量 k=1;
7.   when k≤POPSIZE do
{
8.     t=0;初始化粒子的位置矢量
9.     if t<count then
10.      updateLoc(X(I,k));更新粒子位置
11.     else{
12.       fitness();适应度函数
13.       Pbest();局部最优更新
14.     }
15.     Gbest();全局最优更新
16.   }
17. }

```

粒子群算法的时间复杂度与种群规模 M 、最大迭代次数 T 、求解问题的维数 D 密切相关。PWCA 中每个粒子代表一种信道分配方案,在种群规模上更有灵活性。同时,PWCA 算法在迭代过程中增加了链路权重的思想,优先考虑对全局网络影响更大的链路,有利于提高算法的收敛速度,更快得到最优的信道分配方案,满足无线 mesh 网络作为灾后应急网络方案的需求。

4 仿真实验

本文利用 Matlab 环境对提出的 PWCA 算法进行仿真,对算法的效率和正确性进行评估分析。仿真实验中,设定节点分布随机,将网络区域部署为 $3000\text{m} \times 3000\text{m}$,节点的通信半径设置为 $r=200\text{m}$,初始化 PWCA 的算法参数 c_1, c_2, c_3 。相邻链路之间的干扰情况以链路相关系数进行量化,根据具体情况调整算法中 c_1, c_2, c_3 的值,将种群规模设置为 200,迭代次数设置为 300,每次实验重复独立进行 50 次。

选择遗传算法 (Genetic Algorithm, GA)、传统粒子群算法 (Particle Swarm Optimization, PSO),以及本文提出的基于

链路权重的粒子群信道分配算法 (PWCA) 进行对比分析。

4.1 优化速度的分析

设置网络环境有 25, 50, 100, 150, 200, 300 个节点,可用信道为 3 条正交信道,依次进行多次实验,取其平均值。随着节点数增多,对比不同算法得到最优信道分配方案的迭代次数,对比分析 3 种算法在优化速度方面的优劣。

如图 4 所示,PSO 和 PWCA 算法在节点增多的情况下可以更快得到最优信道分配方案,且 PWCA 相比 PSO 算法有更好的表现,这是因为 PWCA 优先考虑了对整体网络更有影响的链路,加快了算法的收敛速度。

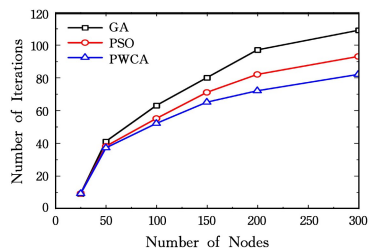


图 4 3 种算法优化速度的对比

Fig. 4 Comparison of optimization speed of three algorithms

4.2 优化结果的分析

网络环境同上,以迭代 50 次为标准,定义全局网络干扰值为每条链路的 LCC 总和,统计每条链路的干扰结果,对比不同节点数量下相同迭代次数得到的网络全局干扰值。

如图 5 所示,在多节点网络环境中,相比其他两种算法,PWCA 在网络节点不断增加的情况下,优化结果优势明显,这证明了其对链路的区别化考虑有助于得到全局网络干扰值更低的优化方案,提升了算法的准确性与可靠性。

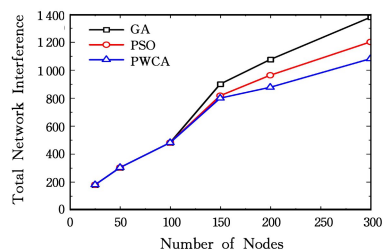


图 5 全局干扰值的对比

Fig. 5 Comparison of total interference value

4.3 节点优化过程的分析

固定节点数量为 300,分别测试可用信道数量为 3, 4, 5, 6, 7, 8 时网络全局干扰总值,对比分析 3 种算法的优化结果。

如图 6 所示,PWCA 在可用信道增加的情况下,优化效果相比其他两种算法更突出,这反映了其在复杂情况下对信道分配的优化程度。

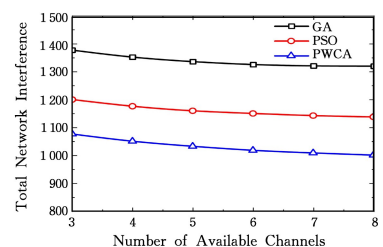


图 6 不同可用信道优化结果的对比

Fig. 6 Comparison of different available channel optimization results

结束语 本文研究了在应急通信中无线 mesh 网络中骨干网信道分配问题,在考虑邻接信道干扰的前提下,综合了链路相关系数与链路权重的思想,提出了一种基于粒子群算法的最小化网络干扰的信道分配算法。该算法对链路的连接情况进行分类,以最小化适应度函数为目标,对信道分配方案进行优化。实验结果表明,该算法可以有效降低网络干扰,提升整体网络性能,有利于保证网络传输质量。

随着可用信道数量的增加,该算法在整体优化速度方面的表现有待加强。如何进一步提高该算法在多接口多信道无线 mesh 网络中信道分配的效率,使其适用于更多场景的信道分配任务,是今后工作的重点。本文的研究对于灾后应急网络架构优化有着一定的参考意义与应用价值,同时也为之后的相关工作研究提供了一定的帮助。

参 考 文 献

[1] BISTRITZ I, LESHEM A. Game Theoretic Dynamic Channel Allocation for Frequency-Selective Interference Channels[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2019, 65(1): 330-353.

[2] SHI W, WANG S, WANG Z, et al. An efficient channel assignment algorithm for multicast wireless mesh networks[J]. AEU-International Journal of Electronics and Communications, 2018, 89: 62-69.

[3] GHEISARI M, ALZUBI J, ZHANG X, et al. A new algorithm for optimization of quality of service in peer to peer wireless mesh networks[J]. Wireless Networks, 2020, 26(7): 4965-4973.

[4] JIA G, YANG Z, LAM H K, et al. Channel Assignment in Uplink Wireless Communication using Machine Learning Approach[J]. IEEE Communications Letters, 2020, 24(4): 787-791.

[5] CHAKRABORTY D, DEBBARMA K. Q-CAR: an intelligent solution for joint QoS multicast routing and channel assignment in multichannel multiradio wireless mesh networks[J]. Applied Intelligence, 2017, 47(1): 13-27.

[6] BEHESHTIFARD Z, MEYBODIM R. An adaptive channel assignment in wireless mesh network; The learning automata approach[J]. Computers & Electrical Engineering, 2018, 72: 79-91.

[7] LIU P, YUAN P Y. Routing Selection and Channel Assignment Method for Mobile Ad Hoc Cognitive Network [J]. Computer Science, 2017, 44(3): 140-144.

[8] ZHONG X, HE Y Z. Channel allocation and uplink power control algorithm for cognitive satellite networks based on cooperative game [J]. Computer Science, 2020, 47(1): 252-257.

[9] SUN G, LIN S, YU F, et al. Multi-rate based channel assignment algorithm for multi-radio multi-channel wireless mesh networks[C]// 2015 11th International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks (MSN). IEEE, 2015: 202-207.

[10] SHOJAFAR M, ABOLFAZLI S, MOSTAFAEI H, et al. Improving Channel Assignment in Multi-radio Wireless Mesh Net-

works with Learning Automata[J]. Wireless Personal Communications, 2015, 82(1): 1-20.

[11] JEBELI M S, DEHGHAN M. Joint multicast routing and channel assignment in Multiradio Multichannel Wireless Mesh Networks using a multi objective algorithm[C]// 2014 6th conference on Information and knowledge technology (IKT). IEEE, 2014: 163-170.

[12] KALA S M, REDDY M P K, MUSHAM R, et al. Interference Mitigation In Wireless Mesh Networks Through Radio Co-location Aware Conflict Graphs [J]. Wireless Networks, 2014, 22(2): 1-24.

[13] SUN G, LIN S, YU F, et al. Multi-rate based channel assignment algorithm for multi-radio multi-channel wireless mesh networks[C]// 2015 11th International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks (MSN). IEEE, 2015: 202-207.

[14] ZHUANG X, CHENG H, XIONG N, et al. Channel Assignment in Multi-Radio Wireless Networks Based on PSO Algorithm [C]// International Conference on Future Information Technology. IEEE, 2010.

[15] KUANG Z F, CHEN Z G. An effective multi-objective optimization spectrum allocation algorithm in cognitive wireless mesh networks [J]. Journal of Central South University (Natural Science Edition), 2013(6): 171-178.

[16] WANG Y J. Research on channel allocation algorithm of wireless Mesh network based on particle swarm optimization [D]. Kunming: Yunnan University, 2014.

[17] ZHANG Y C, WANG Y J. A PSO-Based Channel Assignment Algorithm in Wireless Mesh Networks[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2017, 46(5): 728-733, 746.

[18] ZHENG J F, SHAO Q Y, ZHI J H. Channel assignment algorithm for wireless Mesh network based on Lagrange dual optimization and PSO [J]. Computer Applications Research, 2017(34): 205.

[19] ZHANG W W. Research on routing and channel allocation optimization in wireless Mesh networks [D]. Changchun: Jilin University, 2018.



LIU Wei, born in 1981, Ph.D, associate professor, is a member of China Computer Federation. His main research interests include wireless mesh network, blockchain and information security.



SHE Wei, born in 1977, Ph.D, associate professor, is a member of China Computer Federation. His main research interests include blockchain, energy Internet and Internet healthcare.