

# 障碍物下辅助力导引 IWD 优化传感器部署策略

李小燕<sup>1</sup>, 吴晨曦<sup>2</sup>, 高伟<sup>3</sup>, 李锋涛<sup>4</sup>

(1. 西安电子科技大学 通信工程学院, 西安 710032; 2. 杭州电子科技大学 自动化学院, 杭州 310018;  
3. 国网榆林供电公司, 陕西 榆林 719000; 4. 国网陕西省电力公司, 西安 710048)

**摘要:**为进一步提升传感器节点部署算法性能,提出基于智能水滴优化(Intelligent water drop algorithm, IWD)辅助力导引的传感器节点部署算法.首先,对障碍物存在情况下的结构模型进行设计,给出该模型的路径损耗指数和通信半径的计算策略,同时对传感器节点 IWD 优化部署策略进行流程设计;其次,为增强传统 IWD 算法性能,采用辅助力导引方式对传统 IWD 进化泥土参数更新进行重新设计,增强泥土更新后水滴多样性保持效果,从而实现算法性能提升;最后,利用 MATLAB 制作了大小为 60 m×70 m,规模为 100 组节点,包含障碍物 4 个的仿真算例,并选取标准 IWD 优化策略和差分进化算法作为对比算法,对所提算法在传感器节点部署上的覆盖率和效率优势进行验证.

**关键词:**辅助力导引;传感器节点;水滴算法;障碍物

**中图分类号:**TP18

**文献标志码:**A

无线传感器网络(WSN)是当前研究的热点,应用广泛,是基于多组终端传感元件进行组建,传感元件之间采取自组织或多跳路由形式进行信息传输<sup>[1-2]</sup>. WSN 一般具备较强的协同信息处理水平,且具有较好的容错能力、可实现大范围的区域覆盖、具有远程可控等特点,具有很高的应用价值<sup>[3-4]</sup>.

物联网是近年来发展的一种数据传输技术,其基于传感器网络进行构建,可实现终端信息的实时传输和处理,但是因为 WSN 网络的部署较为困难<sup>[5]</sup>,并且受到传感器节点电量的限制,导致物联网的性能稳定性较差<sup>[6]</sup>.当前,在物联网研究中,网络信息传递的稳定性是普遍研究的热点,这其中如何进行物联网传感器节点的合理部署是研究的重点.目前,对于 WSN 网络部署方面的研究成果很多,解决思路大同小异,采取的策略基本是实现传感器节点的高效部署<sup>[7]</sup>.最近研究成果中,开始将最小二乘算法、神经网络算法、粒子群算法、遗传算法等先进算法应用到传感器节点部署研究中,取得了较好的效果<sup>[8]</sup>.IWD 算法是基于对河道内流水的路径优化选取实现水滴个体的不断进化.目前,IWD 优化策略研究成果较少,并且国内在这方面的研究成果更少,IWD 优化策略主要的研究成果有:在文献[8-9]中,作者分别研究设计了基于标准 IWD 优化策略的车辆运输调度问题;文献[10]是基于平衡理论对 IWD 优化策略的水滴进行多样性改进,进一步提升优化算法的性能,同时基于所提 IWD 优化策略实现了车辆路径的调度过程优化;文献[11]基于所提改进的 IWD 优化策略实现了机器轨迹的最优路径自动选取,获得了机器路径的最优化选取控制;文献[12]利用所设计的 IWD 多目标优化策略,实现了对车辆调度问题的优化控制.以上成果,是现有国内外学者在 IWD 优化策略研究中非常典型的研究文献.

上述算法在应用 IWD 算法进行实践应用的优化设计中,均取得较好效果,但是直接将其应用到存在障碍物场景的优化应用中,因其未考虑到研究对象中存在障碍物情况,通过 IWD 算法求解的优化结果,可能存在虚拟的穿越障碍物情况,是一种不合理优化结果,没有研究指导意义.对此,这里设计了一种基于次优解集扰动的 IWD 优化策略,并基于该优化策略实现了传感器节点的高效部署,主要研究创新如下:(1)对传感器

收稿日期:2017-03-20;修回日期:2017-06-02.

基金项目:国家自然科学基金(51407052)

作者简介(通信作者):李小燕(1978-),女,陕西西安人,西安电子科技大学副教授,研究方向为电力系统继电保护及自动化技术,E-mail:chenhaogui231@21cn.com.

节点部署问题进行研究,并构建了基于 IWD 优化策略的节点部署优化框架;(2)对传统的 IWD 优化策略进行分析,并基于次优解集扰动实现 IWD 优化策略中个体进化的多样性保持,从而提升了传感器节点部署的效率和覆盖精度.

## 1 问题描述

### 1.1 结构模型

图 1 所示为内部动物园舍平面示意图,这里选取的是猪舍示意图,图 1 中所示的猪舍设计宽度为 12 m、长度为 70 m、高度为 5 m,形状为长方体,两猪舍之间的走道宽度为 12 m,猪舍墙壁的设计厚度是 0.4 m,在物联网节点部署中,墙壁是主要的信息传输障碍.图 1 中进行物联网传感器节点部署的主要目的是,通过部署在猪舍和动物身上的传感器节点实现对养殖空间的全区间覆盖,获得内部的实时信息.在该问题研究中,内部的区间覆盖率是主要的优化目标,通过对内部的全覆盖监控可实现数据的实时获取,避免数据遗漏导致的经济损失;在进行物联传感器节点的部署过程中,需要着重考虑节点之间的连通性问题,实现在最少节点部署情况下的网络覆盖率最大.

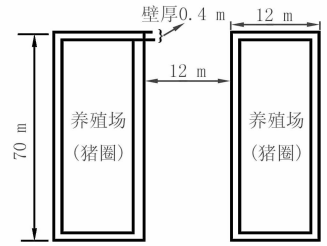


图1 平面图

### 1.2 传感器节点的通信障碍半径

在进行传感器节点的部署过程中,有障碍存在时的传感器节点数据感知半径是需要重点获取的指标.传感器节点进行信息传输中,一般是采取 ZigBee 格式进行通信,这种信号的传输方式会受到节点部署环境条件影响.基于无线传输基本理论,在数据传输时路径距离会导致数据信号衰减,这种衰减一般呈对数形式,称之为路径损耗指标:

$$P(d) = P(d_0) + 10n \lg \frac{d}{d_0}, \quad (1)$$

式中, $P(d)$ 是物联网中的传感节点的路径损耗系数, $n$ 是传感器信号的损耗指数, $d_0$ 是参考间距,这里选取为 1 m, $d$ 是传感器发射端与接收端的间距.

参数的取值大小与传感器节点部署的环境有关,可基于在传感器中实测的数据,基于回归方法统计获得.在节点部署场景下,传感器所发送的信号会因墙壁等障碍物的存在而产生反射等现象,当存在墙壁等障碍时,需对上述衰减模型增加一定的衰减参数,以表征因障碍导致的传感器无线信号传输过程中的衰弱.可利用射线模型表征非视距情况下的信号传播损耗,假设信号传输距离为  $d$ ,那么路径损耗为:

$$P(d) = P(d_0) + 10n \lg \frac{d}{d_0} + A_F, \quad (2)$$

式中, $A_F$ 表示因为墙壁等障碍所导致的无线信号路径损耗系数.假定无线传感器节点的信号接收的阈值强度是  $P_0$ ,如果研究区域内部任何位置的信号强度值比  $P_0$  小,那么处于该位置的传感器节点无法感知到该信号,在路径衰减模型中,信号产生时的初始强度为  $P$ 、由于传输距离产生的损耗系数  $n$  以及墙壁等障碍物所导致的衰减参数  $A_F$  均可基于实地测量获得,同时信号的阈值强度  $P_0$ .可利用设定好的参考距离  $d_0$  进行计算获得,因此,可对实际场景下的无线信号在障碍阻挡下的通信距离  $r$  进行计算:

$$P(d) = \lg \frac{P}{P_0} = P(d_0) + 10n \lg \frac{r}{d_0} + A_F. \quad (3)$$

上述公式中的路径损耗系数  $n$  对于 WSN 网络节点的部署非常关键,因为参数  $n$  与内部的环境密切相关,所以在操作中,一般选取 12 组不存在障碍情况,进行信号的视距传播测试,每组测试过程中,进行 100 组数据传输,传感器收发模块  $T-R$  之间的距离  $d$  采取递增方式获得,递增值设定为 6 m,在获得接收信号记录指示(RSSI)数值后,利用该数值计算距离不等位置的 RSSI 均值,那么可得到实际路径损耗数值为<sup>[13-14]</sup>:

$$P_L = P_t - P_r. \quad (4)$$

### 1.3 传感器节点部署流程

为实现对图 1 所示传感器节点部署,设定节点部署区域尺寸为  $60\text{ m} \times 70\text{ m}$ ,其中,长度是  $70\text{ m}$ ,宽度为  $60\text{ m}$ ,那么在传感器节点的部署区域内共有 3 座猪圈,每个猪圈的宽度是  $12\text{ m}$ . 由此可得,传感器节点部署区域内的墙壁障碍物共有  $l=4$  个. 在节点部署区域内共可随机放置有  $N$  个传感器节点(例如选取  $N=100$ ). 在进行节点部署区域初始化过程中,首先把  $N$  个传感器节点通过随机形式部署在整个内部,这种随机部署形式必然会存在一定的信息传输断层. 为此,需要设计优化过程,对初始化的节点部署情况进行完善,具体流程见图 2.

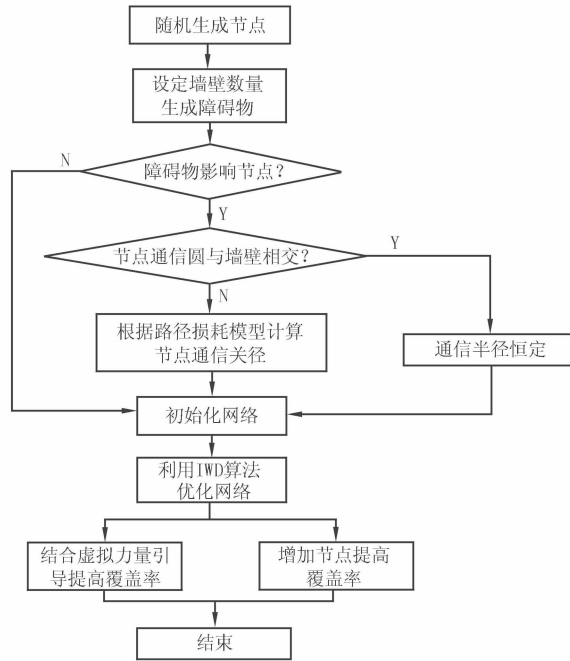


图2 障碍物存在条件下整体算法流程图

根据图 2 算法流程可知,利用智能水滴算法进行传感器节点的网络部署优化,在这个优化过程中,为实现部署区域的覆盖率最大化,确保传感器终端节点所获得数据的有效传输,传感器节点会尽量实现在整个区域中均匀分布. 最后,还要对障碍影响节点部署的情况进行判断,如果不存在影响则设定其数据传输半径为  $R$ ,如果存在影响,那么基于公式(3)将其数据传输半径更改为  $r$ .

## 2 基于辅助力导引的 IWD 优化策略

### 2.1 标准 IWD 优化策略

在传统的 IWD 优化策略中,利用水滴算法的河道内泥土量的大小对水滴移动的难易进行表征. 在实际的河道内,水滴移动会自动选取阻力小的路径,具体反映在 IWD 优化策略中,即为 IWD 算法内水滴会自动选取泥土量少的河道进行水流运输. 在此过程中,基于  $P(p_i, p_j)$  可对水滴从河道内位置  $p_i$  到位置  $p_j$  流动过程中选择该路径的概率进行表征<sup>[15-16]</sup>:

$$P(p_i, p_j) = f(s(p_i, p_j)) / \sum f(s(p_i, p_j)). \quad (5)$$

标准 IWD 优化策略中,水滴在经由位置  $p_i$  到达位置  $p_j$  以后,根据公式(6)至(8)对水滴个体流动速度进行更新,则水滴内泥土量及该水滴所经过的河道内泥土量情况可利用如下公式计算:

$$v^{IWD}(t+1) = v^{IWD}(t) + \frac{a_v}{b_v + c_v(s(p_i, p_j))^2}, \quad (6)$$

$$s^{IWD} = s^{IWD} + s(p_i, p_j), \quad (7)$$

$$s(p_i, p_j) = (1 - \rho_n)s(p_i, p_j) - \rho_n s(p_i, p_j). \quad (8)$$

在算法水滴个体经过更新操作之后,基于 IWD 优化策略,对进化过程中当代的最优解集  $V_{\text{best}}$  经过的河道内泥土量的变化情况进行更新:

$$s(p_i, p_j) = (1 + \rho_{\text{IWD}}) \times s(p_i, p_j) - \rho_{\text{IWD}} \frac{1}{N_{\text{IB}} - 1} s_{\text{IB}}^{\text{IWD}}, \forall (p_i, p_j) \in V_{\text{best}}. \quad (9)$$

## 2.2 辅助力导引扰动策略

在上述分析基础上,可得标准 IWD 优化策略在进化计算中,只采取对处于最优位置的水滴进行河道泥土更新的做法,会导致种群中的水滴多样性出现衰减,导致算法缺乏进化动力,如果出现 IWD 优化策略最佳水滴陷入局部极值情况,会导致算法缺乏跳出局部极值的动力.对此,在上述算法基础上,这里设计 IWD 算法的辅助力导引扰动策略,以提高标准 IWD 优化策略对于局部极值的抵抗能力.假定在标准的 IWD 优化策略中,每步的水滴进化后,所获最佳水滴个体集为  $V_{\text{best}} = \{p_i, p_j, \dots, p_{N_m}\}$ .则改进策略是对该最佳水滴个体集施加辅助导引力,实现在个体集邻域的导引拓展,从而获得其邻域集形式为:

$$V_{N-\text{best}} = \{p_1^{\text{up}}, p_1^{\text{down}}, \dots, p_{N_m}^{\text{up}}, p_{N_m}^{\text{down}}\}, \quad (10)$$

式中,  $p_i^{\text{up}}, p_i^{\text{down}}$  分别为节点部署问题的参数取值区间内,取值  $p_i$  的邻域拓展的上限以及下限.则最佳水滴个体集  $V_{\text{best}}$  所施加的辅助力导引如下:

$$V_{\text{extend}} = V_{N-\text{best}} \cup V_{\text{best}}. \quad (11)$$

在智能水滴的迭代中,辅助力导引内的任何两点间水滴个体的泥土量更新形式为:

$$s(p_i, p_j) = (1 + \rho_{\text{IWD}}) \cdot s(p_i, p_j) - \alpha \cdot \rho_{\text{IWD}} \frac{1}{N_{\text{IB}} - 1} s_{\text{IB}}^{\text{IWD}}, \forall (p_i, p_j) \in V_{\text{extend}}. \quad (12)$$

在(12)式中,  $\alpha$  为水滴个体的衰减因子,  $\alpha = e^{-t/T}$ ;  $t$  是水滴算法的当前进化代数、 $T$  是设定的水滴总进化代数.通过引入上述辅助力导引扰动过程,可实现 IWD 优化策略对拓展区域  $V_{\text{extend}}$  内水滴选取的概率,进而可强制性地提升水滴算法的种群多样性.

## 2.3 算法流程

由此可得,所提出的辅助力导引扰动 IWD 优化算法的具体实现过程如下:

步骤 1 对 IWD 算法中所涉及参数初始化,包括设定 IWD 算法种群个体的规模值  $n$ 、设定算法的全局最佳适应值  $f(V_{T_{\text{best}}}) = \infty$ 、设定水滴所流经的河道内部的泥土量初值是  $s(p_i, p_j)$ 、设定进化代数初始值为  $t = 0$ 、设定最大进化代数是  $T$ 、设定导引力扰动标志参数为  $C_0$ 、设定水滴最佳目标值连续不变终止代数  $c = 0$ .

步骤 2 将当前进化代数  $t$  与终止迭代数  $T$  进行比较.若两者数值满足  $t \geq T$  条件,则算法进化过程跳转至步骤 15,输出最佳节点部署方案.

步骤 3 设定 IWD 算法的水滴中的泥土含量初值,以及水滴  $j$  的初始流速,并设置算法进化到第  $t$  代的水滴的目标最佳适应度值是  $f(V_{t_{\text{best}}}) = \infty$ .

步骤 4 上述步骤中  $j$  为水滴数量下标,设定初始标志  $j = 1$ .

步骤 5 对比水滴数量下标  $j$  和种群个体的规模值  $n$ .若上述两数值满足条件  $j > n$ ,则 IWD 优化策略跳转到步骤 11,进行适应值计算和最佳种群个体选取.

步骤 6 初始化 IWD 算法中水滴  $j$  尚未流经的河道,并创建该河道集合,  $C_{\text{unvisited}} = \{\text{所有客户点}\}$ .

步骤 7 对步骤 6 构建的未流经河道集合  $C_{\text{unvisited}}$  进行判断,判定该集合是否为空集.若满足条件  $C_{\text{unvisited}} \neq \emptyset$ ,那么令  $j = j + 1$ ,并让 IWD 优化策略跳转到步骤 5,进行种群进化判断.

步骤 8 设定 IWD 优化策略的取值范围作为限制,然后构建可行流河道集合.

步骤 9 如果步骤 8 中所构造可行流河道集合为空集,则 IWD 优化策略的水滴流经河道中心,然后 IWD 优化策略跳转到步骤 8,进行可行流河道集合构建.

步骤 10 对 IWD 优化策略实施轮盘赌子代选取,并对水滴  $j$  所经过的河道位置进行选择,同时更新 IWD 优化策略的个体移动速度  $v(t)$ 、水滴流经河道所导致的泥土量损失或增加量为  $s(p_i, p_j)$ 、水滴所裹挟的泥土量是  $s^{\text{IWD}}$ ,跳转到步骤 7,进行未流经河道集合构建和判断.

步骤 11 对 IWD 优化策略的最佳水滴的适应度函数值  $f(V_{t_{\text{best}}})$  进行计算,并判断如果满足条件  $V_{t_{\text{best}}} =$

$V_{(t-1)\text{best}}$ , 则可进而获得  $c = c + 1$ . 如果上述条件不满足, 那么可得  $c = 0$ . 如果  $f(V_{T\text{best}}) > f(V_{t\text{best}})$ , 则可得  $f(V_{T\text{best}}) = f(V_{t\text{best}})$ ,  $V_{T\text{best}} = V_{t\text{best}}$ .

步骤 12 若 IWD 优化策略计算获得的最佳适应值经过若干代进化均为实现适应值的进化, 并且该次数  $c = C_0$ , 那么跳转至步骤 13, 采用辅助力导引策略对水滴种群的多样性进行改进.

步骤 13 更新最佳水滴的泥土量, 并对最佳水滴集合  $V_{t\text{best}}$  执行扩张操作, 然后构建辅助力集合  $V_{\text{extend}}$  对水滴进化进行导引, 同时更新辅助力所导引的水滴流经路径的泥土量.

步骤 14 令进化代数  $t = t + 1$ , 然后 IWD 优化策略跳转回步骤 2.

步骤 15 输出最优解集  $V_{T\text{best}}$ , 即 PID 控制过程的最佳整定方案.

### 3 连通的充分条件

实现覆盖度  $k$  所采用的概率模型:

$$\begin{cases} P(\text{nbrs} \geq k, 0 \leq l < l_{\text{THR}}) = 1 - \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(S_1 \lambda)^i}{i!} e^{-S_1 \lambda}, \\ S_1 = 2R_{\text{SENS}} l_{\text{THR}} + \pi R_{\text{SENS}}^2, \lambda = N/S_{\text{area}}, \end{cases} \quad (13)$$

在(13)式中,  $S_1$  是对入侵者跟踪的轨迹  $l$ . 确保每个点的检测区域至少被  $k$  个传感器节点覆盖的的阈值概率. 对子网使用 1-连接模型的连接概率:

$$\begin{cases} P_{\text{C\_Network}}(\text{nbrs} \geq 1) = (1 - e^{-S_2 \lambda})^k, \\ S_2 = \pi R_{\text{TRANS}}^2, \lambda = k/S_{\text{area}}. \end{cases} \quad (14)$$

被  $k$  传感器节点覆盖的表面区域, 每个传感器节点的位置定位总是显著小于或等于入侵者定位, 因为区域  $S_{\text{ol}}$  中的每个子集由  $k$  个传感器节点覆盖:

$$\xi \in S_{\text{ol}}, S_{\text{ol}} = S_{N_1} \cap S_{N_2} \cap \dots \cap S_{N_k}. \quad (15)$$

因此,  $k$  传感器节点覆盖的表面区域  $S_{\text{area}}$  总是小于或等于  $\pi R_{\text{TRANS}}^2$ , 即  $S_{\text{area}} \leq nR_{\text{TRANS}}^2$ . 图 3 说明了  $k$  个不同分布的传感器节点, 用来检测表面  $S_{\text{area}}$  上的入侵者. 则子网上的节点密度可表示为  $\lambda = k/(nR_{\text{SENS}}^2)$ . 因此, 子网连通性公式为:

$$P_{\text{C\_Network}}(\text{nbrs} \geq 1) = (1 - e^{-k(\frac{R_{\text{TRANS}}}{R_{\text{SENS}}})^2})^k. \quad (16)$$

可提高  $k$  传感器节点之间的协作检测入侵者的质量, 并获得状态的警报

$$P_{\text{C\_Network}}(\text{nbrs} \geq 1) \rightarrow 1, (1 - e^{-k(\frac{R_{\text{TRANS}}}{R_{\text{SENS}}})^2})^k \rightarrow 1. \quad (17)$$

根据(16)式可知, 随着  $\alpha = R_{\text{TRANS}}/R_{\text{SENS}} \rightarrow \infty$ , 则  $P_{\text{C\_Network}}(\text{nbrs} \geq 1) \rightarrow 1$ .

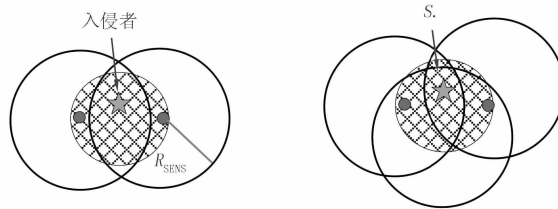


图3 多传感器检测最小条件

**定理 1**(网络连接的最小条件概率) 考虑集合  $R^2$  中的边缘长度为  $L$  的方形区域  $A$  的  $N$  个随机分布节点, 考虑所有传感器节点是静态的, 部署均匀无线传感器网络, 确保每个传感器节点不可从子网络中分离:

$$P_{\text{C\_Network}}(\text{nbrs} \geq 1) \geq P_{\text{threshold}}. \quad (18)$$

必须设置所有的传感器节点的传输/检测范围:

$$\alpha = \frac{R_{\text{TRANS}}}{R_{\text{SENS}}} \geq \sqrt{\frac{-\ln(1 - (P_{\text{threshold}})^{1/k})}{k}}. \quad (19)$$

其结果是, 子网络连接的阈值为  $P_{\text{threshold}}$ , 每个传感器节点不是孤立的子网络, 并可以与其邻居交换信息.

## 4 实验结果与分析

为验证所提节点优化部署策略的有效性,基于 MATLAB 2013a 仿真平台进行模拟实验设计. 设定仿真数据:区域 A 尺寸  $60\text{ m} \times 70\text{ m}$ , 规模  $N=100$ , 固定节点数  $N_1=N_2=50$ , 障碍物墙壁数  $l=4$ , 迭代次数  $C_L=200$ , 约束因子  $r=0.729$ , 墙体衰减因子  $A_F=2.64$ , 路径损耗指数  $n=2.02$ , 参考距离  $d_0=1\text{ m}$ , 泥土量更新因子  $P^{\text{IWD}}=0.45$ . 对比算法选取标准 IWD 优化策略和差分进化算法.

三种对比算法在部署区域中的覆盖率进化曲线如图 4 所示,优化精度和计算时间对比数据见表 1.

表 1 优化精度和计算时间对比

算法	优化精度(节点覆盖率)/%	计算时间/s	全覆盖所需节点数
本文算法	98.3	3.2	92
差分进化算法	91.3	4.5	143
标准 IWD	85.4	5.3	157

根据图 4 和表 1 数据可直观地看出,在覆盖率进化曲线上,本文算法要快于选取的对比算法,并且收敛精度也要优于标准 IWD 优化策略和差分进化算法. 在计算时间指标上,本文算法仅需 3.2 s,要比两种对比算法用时更少,但是相差并不大,可以接受. 在全覆盖所需节点数量指标上,本文算法仅需 92 个节点,即可实现网络的全覆盖,但是差分进化算法则需要 143 个节点,标准 IWD 优化策略则需要 157 个. 上述实验数据验证了所提方法的有效性.

图 5 显示了子网连接概率随传输距离变化情况,由  $k$  个传感器节点构成,  $k=3,4,5$ ,  $R_{\text{SENS}}=20$ .

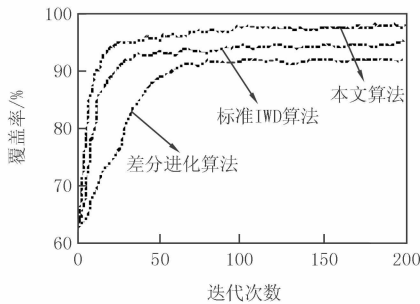


图4 覆盖率进化曲线对比

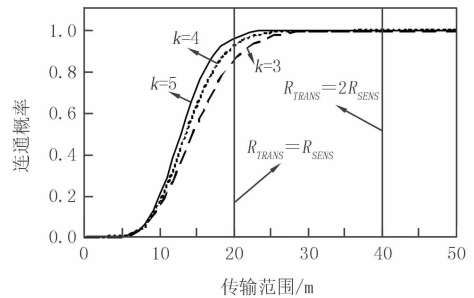


图5 子网连接概率

根据图 5 可知,随着传输范围  $R_{\text{TRANS}}$  增加,网连接概率也随之增大. 当传输范围  $R_{\text{TRANS}}$  增加超过阈值的 40 时,即  $R_{\text{TRANS}}=2R_{\text{SENS}}$ , 概率趋近于 1, 并保持不变. 此外, 研究结果表明, 子网络连接质量可通过提高  $k$ - 感知检测获得提高. 这是因为随着  $k$ - 感知检测增加了传感器节点, 子网有效密度增加从而达到更高的连通性.

## 5 结束语

以传感器节点的部署为研究背景,基于辅助力导引的 IWD 优化策略对传感器节点的部署问题进行优化. 此外,对其中墙壁导致的数据传输障碍进行研究,并对障碍物存在情况下的通信范围进行计算,实验对比数据显示,采用辅助力导引的 IWD 优化策略可实现快速的传感器节点优化,能够加快收敛速度,提升传感器节点部署的覆盖率.

## 参 考 文 献

- [1] 叶冬芬,杨明霞,范伟. 无线传感网群点检测技术研究综述[J]. 计算机应用研究, 2015, 32(7): 1937-1941.
- [2] Soufiene B O, Abdullah A B, Abdelbasset T, et al. Confidentiality and Integrity for Data Aggregation in WSN Using Homomorphic Encryption[J]. Wireless Personal Communications, 2015, 80(2): 867-889.
- [3] 朱剑,刘君,赵海,等. UWSN 中基于随机游走模型的可靠路由算法研究[J]. 计算机学报, 2016, 39(5): 1007-1019.
- [4] Luo Q, Yan X, Li J, et al. DEDF: lightweight WSN distance estimation using RSSI data distribution-based fingerprinting[J]. Neural Computing and Applications, 2016, 27(6): 1567-1575.

- [5] Devesh P S, Goudar R II, Sreenivasa R. Coverage lifetime improvement through efficient deployment of sensor nodes in WSN[J]. International Journal of System Assurance Engineering and Management, 2016, 7(2): 201-212.
- [6] 崔灿, 孙毅, 陆俊, 等. 基于混合 CS 的 WSN 六边形格状优化分簇路由算法研究[J]. 通信学报, 2016, 37(5): 2016104.
- [7] Padmalaya N, Anurag D. A Fuzzy Logic-Based Clustering Algorithm for WSN to Extend the Network Lifetime[J]. IEEE Sensors Journal, 2015, 16(1): 137-144.
- [8] Carlos E O, Wade II S, Ivica K. Multiresponse Optimization of Stochastic WSN Deployment Using Response Surface Methodology and Desirability Functions[J]. IEEE Systems Journal, 2010, 4(1): 39-48.
- [9] Li Z P, Zhao F, Liu II W. Intelligent water drops algorithm for vehicle routing problem with time windows[C]//International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM). [出版地不详]: IEEE, 2014: 1-6.
- [10] Kamkar I, Akbarzadeh T M, Yaghoobi M. Intelligent water drops a new optimization algorithm for solving the Vehicle Routing Problem [C]//IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics (SMC). [出版地不详]: IEEE, 2010: 4142-4146.
- [11] Zahra B, Teymourian E, Komaki G M. An improved optimization method based on the intelligent water drops algorithm for the vehicle routing problem[C]//IEEE Symposium on Computational Intelligence in Production and Logistics Systems (CIPLS). Orlando: IEEE, 2014: 59-66.
- [12] Salmanpour S, Omranpour II, Motameni II. An intelligent water drops algorithm for solving robot path planning problem[C]//IEEE 14th International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI). Budapest: IEEE, 2013: 333-338.
- [13] Marko P, Miha S, Matevž V, et al. Smartphone with Augmented Gateway Functionality as Opportunistic WSN Gateway Device[J]. Wireless Personal Communications, 2014, 78(3): 1811-1826.
- [14] Yang II, Li W, Luo C. Fuzzy adaptive Kalman filter for indoor mobile target positioning with INS/WSN integrated method[J]. Journal of Central South University, 2015, 22(4): 1324-1333.
- [15] 刘春霞, 田芸. 高校科研能力的协同 IWD 粗糙集-块神经网络评估模型[J]. 计算机工程与科学, 2016, 38(3): 486-493.
- [16] 李明富, 张玉彦, 周后明. 基于 IWD 优化策略的多目标混合品种装配线平衡问题[J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(4): 965-973.

## Optimal Sensor Deployment Strategy with Auxiliary Force Guidance IWD Algorithm Under Obstacles

Li Xiaoyan<sup>1</sup>, Wu Chenxi<sup>2</sup>, Gao Wei<sup>3</sup>, Li Fengtao<sup>4</sup>

(1. School of Telecommunications Engineering, Xidian University, Xi'an 710032, China; 2. College of Automation, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China; 3. State Grid Yulin Electric Power Supply Company, Yulin 719000, China; 4. State Grid Shaanxi Electric Power Company, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** To further improve the performance of sensor node deployment algorithm, we proposed a sensor node deployment algorithm under obstacles based on Intelligent water drop algorithm (IWD) and assisted force guidance. Firstly, we designed the structural model of the obstacle, and gave the calculation method of the path loss index and the communication radius of the model. Meanwhile, we did the optimal design of the sensor node IWD; Secondly, in order to enhance the performance of the traditional IWD algorithm, we used auxiliary force directed method to update the redesign of the traditional IWD evolutionary soil parameters, which enhanced soil water conservation effect after updating diversity, so as to realized the algorithm performance; Finally, we used Matlab to make the simulation example with size of 60 m×70 m, size of 100 nodes, and 4 obstacle, then selected the IWD optimization strategy and differential evolution algorithm for comparison algorithm to verify the coverage and efficiency advantages of the proposed algorithm.

**Keywords:** Auxiliary force guidance; sensor node; water drop algorithm; obstacles

[责任编辑 陈留院]