

基于人工免疫算法的传感器节点布置策略

王 娇

(西安工业大学电子信息工程学院 西安 710021)

摘 要: 针对无线传感器网络节点的应用环境特殊性,以及传统随机投放所造成的高成本,覆盖率低的问题,提出了采用免疫遗传算法对节点分布进行优化的覆盖策略,目的是在实际应用中满足网络正常运行,功能实现的前提下,尽可能以最少的节点数量达到最大的覆盖率,达到节约成本的目的,给出了算法的具体步骤。仿真结果表明:要实现97%的覆盖率,免疫遗传分布策略只需要相对较少的节点数目,相比传统的随机投放策有明显的优势。

关键词: 无线传感器网络;分布优化;免疫遗传算法

中图分类号: TP2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 393.03

Layout strategy based on artificial immune algorithm sensor nodes

Wang Jiao

(Electronic And Information Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: particularity application environment and network connectivity in wireless sensor network node, proposed the use of immune genetic algorithm to optimize the distribution of nodes covering strategy, designed to meet the network uptime in practical application, function under the conditions of implementation, make possible with a minimum number of nodes reaches the maximum coverage. Finally, the experimental analysis to verify the validity and feasibility of the algorithm.

Keywords: wireless sensor networks; distribution optimization; immune genetic algorithm

1 引 言

无线传感器网络是以特定的方式将传感器节点布置于待检测区域,以实现网络的检测功能。被广泛应用于自然环境测试、工业检测、军事医疗等各种领域^[1]。无线传感器网络的节点分布策略对于整个网络的拓扑维护、路由选择和连通性,以及整个网络的生存时间有着很大的影响,传感器网络的节点布置策略通常是采用随机投放的方法,这种方式成本较高,且不能保证网络的连通性。因此,无线传感器节点布置策略是一个很重要的研究方面^[2-3]。免疫遗传算法是将生物抗原对抗体的免疫机制与基本遗传算法相结合,改善了传统遗传算法的优化性能。将免疫遗传算法应用于传感器网络节点的优化布置中,在传统的算法中加入了新的构思,设计出一种可行的、有效的、适合网络节点非均匀布置的无线传感器网络节点分布策略。

2 节点分布问题的数学模型和方法

2.1 数学描述

假定待检测区域为二维平面 S , 首先将该区域离散化为 A_N 个面积为 1 的小方格, 每个小方格代表一个离散点 (x_i, y_i) ,

$(t = 1, 2, \dots, A_N)$ 。假设要将参数相同、数目为 N 的传感器节点投放于布置区域 S , 每个节点的有效监测半径均为 r , 每个传感器所在位置的坐标为 (x_i, y_i) , $(i = 1, 2, \dots, N)$ 。

本文定义目标函数 f 为:

$$f = \frac{\sum_{j=1}^N c(x_j, y_j)}{A_N} \quad (1)$$

即被覆盖的离散点总数与离散点数目 A_N 之比。

式中: $c(x_i, y_i)$ 为离散点 (x_i, y_i) 被覆盖率, 若点 (x_j, y_j) 到传感器节点之间的距离小于节点的检测半径 r , 则该点被覆盖, 覆盖率为 1, 否则为 0。定义 $c(x_j, y_j)$ 为:

$$C(x_i, y_i) = \begin{cases} 1, & (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 \leq r^2 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

基于上述分析可知, 传感器网络的节点布置优化问题就是求目标函数 f 的最大值。求得 f 的最小值时的优化策略就是本次问题的解, 即是用数目为 N 的节点投放于监测区域 A_N 中, 达到了最大的覆盖率。

2.2 免疫遗传算法介绍

人工免疫算法简称 AIS 算法, 该算法的维持机制是模拟生物免疫系统对抗原刺激的识别多样性, 在 AIS 算法

中,通常将需要求解的问题作为抗原递呈,将抗体描述为种群中的个体即问题的一组可行解^[4]。与此同时,抗体与抗原之间的亲和力或识别度,表达为抗体对抗原的匹配程度,其大小对应于每个个体的适配值,即待求解的目标函数值。

免疫遗传算法是在传统遗传算法中引用了记忆抗体群与克隆扩增,其原理是通过模拟细胞高频变异,选择对抗原具有高亲和力的抗体进行克隆扩增与记忆抗体群更新,其结合了免疫算法与基本遗传算法的优势,进一步改进了免疫算法的性能。

2.3 节点分布问题在免疫遗传算法中的映射

在免疫遗传算法中用抗体表示问题的可行解,即用感知节点的分布策略作为抗体,目标函数 f 作为抗原。在算法中如何完成从最优化问题解空间到编码空间的映射是关键问题。针对无线传感器网络中感知节点的分布问题,采用了一种基于节点坐标的编码方案。感知节点在目标区域的位置由坐标代替。节点的在坐标中的编码映射如图 1 所示。

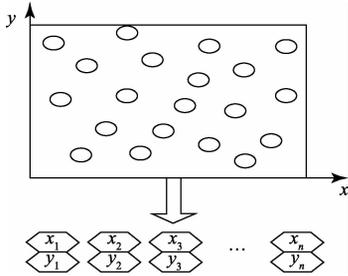


图 1 节点坐标编码映射

3 基于人工免疫算法的传感器节点布置寻优

步骤 1:随机生成有 n 个抗体的初始抗体群。与 GA 类似,对节点坐标进行编码,并转化为二进制串,作为抗体。初始抗体群 g 用矩阵形式表示如下式所示,其中 $g_j(x_i, y_i)$ 表示第 j 个初始抗体的第 i 个基因,即第 i 个传感器的部署位置编码, N 为传感器节点的数目, M 为随机产生的抗体的数目。

$$g = \begin{bmatrix} g_1(x_1, y_1) & g_1(x_2, y_2) & \cdots & g_1(x_i, y_i) & \cdots & g_1(x_N, y_N) \\ g_2(x_1, y_1) & g_2(x_2, y_2) & \cdots & g_2(x_i, y_i) & \cdots & g_2(x_N, y_N) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ g_j(x_1, y_1) & g_j(x_2, y_2) & \cdots & g_j(x_i, y_i) & \cdots & g_j(x_N, y_N) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ g_M(x_1, y_1) & g_M(x_2, y_2) & \cdots & g_M(x_i, y_i) & \cdots & g_M(x_N, y_N) \end{bmatrix} \quad (3)$$

步骤 2:亲和力计算。计算抗体群中每个抗体 g_j 与给定抗原 $f(x, y)$ 之间的亲和力 a_f ,并将其作为抗体 g_j 的适配值,以表达次抗体对抗原的匹配程度,同时计算抗体之间的相似程度 a_g ,定义为:

$$a_g = \sum_{i=1}^n \begin{cases} 1, & |g_m(x_i, y_i) - g_n(x_i, y_i)| = 0 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

当 a_g 大于阈值 v 时,只保留一个抗体。

步骤 3:记忆抗体群更新。用高适配值的抗体取代原有抗体群中因相似度高而被去除的抗体,并保持抗体群的数量不变。

步骤 4:受体编辑。随机生成 s 个全新的抗体,替换抗体群中 s 个具有最低亲和力的抗体,增加系统的多样性。

步骤 5:生成新一代抗体群。对当前种群按概率 p_c 和 p_m 进行交叉和变异,生成新一代抗体群。其中交叉运算中,子代的基因 (x_{Ind_k}, y_{Ind_k}) 由以下公式得出:

$$\begin{cases} x_{ch,djk} = \frac{x_{Ind_k} + x_{Ind(j+1)k}}{2} + \psi_x \\ y_{ch,djk} = \frac{y_{Ind_k} + y_{Ind(j+1)k}}{2} + \psi_y \end{cases} \quad (5)$$

式中: $\psi_x \sim N(0, x_{Ind(i+1)k} - x_{Indik})$, $\psi_y \sim N(0, y_{Ind(i+1)k} - y_{Indik})$ 符合均值为 0 的高斯分布 $(x_{Ind(i+1)k}, y_{Ind(i+1)k})$ 为父代双亲节点的坐标。

步骤 6:判断是否满足停止条件。

4 算法仿真

为了验证算法的可行性和有效性,利用 MATLAB 对算法进行仿真,以便通过仿真测试和比较对算法本身进行改进。

本次仿真实验,在 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 的区域内对传感器节点进行优化布置,设定节点的感知范围为 100 m ,首先将预先编号的 MATLAB 程序存入计算机中,设定初始值,经过实际的反复运算仿真,最终确定的免疫遗传算法的运行参数设定如表 1 所示。

表 1 参数设置

阈值 v	抗体数 s	交叉概率	选择概率
2	5	0.62	0.21

仿真结果如图 2 所示,为了与传统的分布方式进行比较,运用 MATLAB 随机对节点进行布置,取多次投放结果的平均值,并不断改变所投放节点的数目,绘制出的节点数目与覆盖率之间的变化关系如图 3 所示,表 2 为当节点数目 N 取 35 时节点的覆盖率随着迭代次数 T 的变化情况。

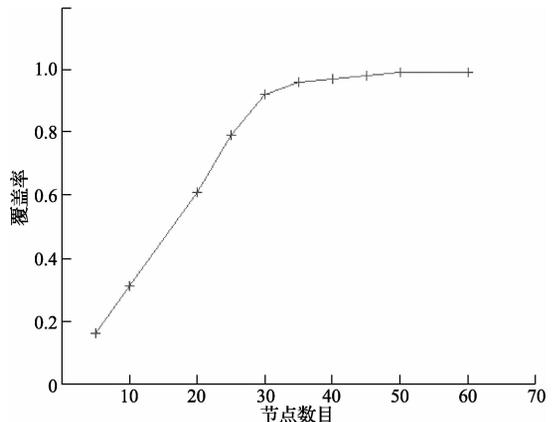


图 2 免疫算法覆盖率变化曲线

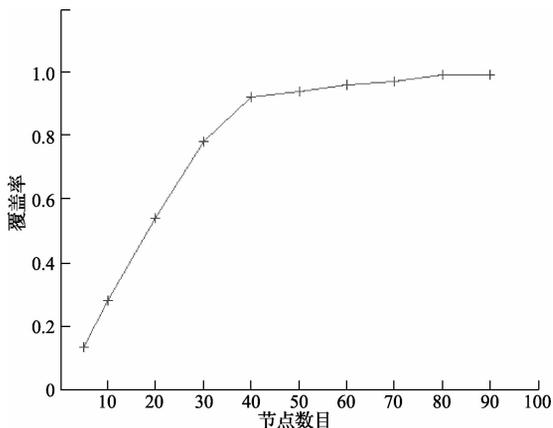


图 3 随机投放节点的覆盖率变

表 2 不同迭代次数的覆盖率的变化

T	300	350	400	450	500
$\omega(\%)$	76.4	89.3	95.7	97.1	97.3

改变传感器节点的数目 N , 进行多次的仿真实验, 并绘制出投放的节点数目与覆盖率的变化曲线, 由图 2 所示, 可以看出当节点数目为 34 时, 覆盖率达到 97%, 以后随着节点的增加, 覆盖率变化缓慢, 并逐渐趋于一个稳定值。由图 3 可以看出来, 要得到 97% 的覆盖率, 需要投放至少 60 个传感器节点, 且随机投放的波动性较大, 曲线的平滑性低。根据表二可以看出来, 节点的覆盖率随着迭代次数的增加不断增大, 等到算法运行 450 代后, 抗体的平均适配值达到了一个稳定值。

由以上仿真结果可以看出, 采用免疫遗传算法进行无线传感器网络节点的布置的方法是可行的。算法能够以最小的节点数目达到高效的覆盖率。

5 结 论

在保持网络连通性的前提下, 对极大化网络覆盖面积进行了研究, 提出利用免疫遗传算法进行传感器节点优化的机制, 仿真结果表明, 算法能够针对特定的目标区域获得较好的节点分布, 在此分布下的感知网络不仅可以获得最佳的感知范围, 而且可以减少网络的路由和管理负载, 降低

数据的冗余度, 提高节点间的通信有效性并有利于提高感知节点的生存期限。在此基础上, 可以在观测点密集地区, 适当的增加传感器数量, 以延长网络的生存时间。

参考文献

- [1] 段渭军, 王建刚, 王福豹. 无线传感器网络节点定位系统与算法的研究和发展[J]. 信息与控制, 2006, 3(6): 239-245.
- [2] 吴银锋, 周翔, 冯仁剑, 等. 基于节点信任值的无线传感器网络安全路由[J]. 仪器仪表学报, 2012, 33(1): 67-82.
- [3] 陈贻焕, 宋闯, 陈佳琪, 等. 一种基于 ARM 的无线传感器网络[J]. 国外电子测量技术, 2011, 30(6): 101-105.
- [4] 两种无线传感器网络的能耗分析[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(4): 123-127.
- [5] 焦磊, 邢建平, 张军. 一种非视距环境下具有鲁棒特性 TOA 无线传感网络定位算法[J]. 传感技术学报, 2007, 22(7): 1625-1629.
- [6] 可方玲, 黄晓利, 段渭军, 等. 无线传感器网络 TDOA 定位系统的设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2008, 16(2): 221-224.
- [7] 樊尚春, 梁虹. 电容式固态物含水率传感器的模型[J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(增刊 4): 1022-1023.
- [8] 董颖, 刘欢杰, 许宝栋. 一种基于实数编码的改进遗传算法[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2006, 27(7): 707-710.
- [9] 段玉波, 任伟建, 霍凤财, 等. 一种新的免疫遗传算法及其应用[J]. 控制与决策, 2005, 20(10): 1184-1186.
- [10] 阮柏尧, 张散奕. 人工免疫算法对遗传算法改进的仿真研究[J]. 五邑大学学报, 2007, 21(4): 31-34.

作者简介

王娇, 1990 年出生, 在读硕士。主要研究方向为仪器与测试技术、自动控制等。

E-mail: 772463455@qq.com