

无线传感器网络节点的自定位技术研究

熊志利^{1,2} 瞿少成²

(黄冈师范学院电子信息学院 黄冈 438000)¹ (华中师范大学物理科学与技术学院 武汉 430079)²

摘要 首先,总结和分析无线传感网络节点自定位的基本原理、分类,得到自定位技术的本质是一个优化最优问题;其次,在此基础上,以遗传算法、模拟退火算法、进化策略和差分进化算法作为研究对象,针对这4种典型定位算法的优缺点展开讨论;然后,结合GA算法和SA算法各自的优势,提出一种遗传-模拟退火算法,从而增加初始种群的多样性,避免在传感器节点选择中陷入局部最优解的问题;最后,将上述改进方法应用到无线传感器网络节点定位中,用MATLAB分别对GA算法、SA算法和GSA算法进行仿真比较,验证了GSA算法的优势,为无线传感节点自定位技术提供新的参考。

关键词 无线传感器,网络节点,自定位算法,遗传-模拟退火算法

中图分类号 TN384 文献标识码 A

Self Localization Technology of Wireless Sensor Network Node

XIONG Zhi-li^{1,2} QU Shao-cheng²

(School of Electric Information, Huanggang Normal University, Huanggang 438000, China)¹

(College of Physical Science and Technology, Central China Normal University, Wuhan 430079, China)²

Abstract This paper firstly summarized and analyzed basic principle and classification of the wireless sensor network node, and got that essence of self localization technology is an optimal problem. Secondly, on this basis, we took the genetic algorithm, simulated annealing algorithm, evolutionary strategy and differential evolution algorithm as the research object, and discussed the advantages and disadvantages of the four kinds of typical localization algorithm. Then, combined with the advantages of GA algorithm and SA algorithm respectively, a genetic simulated annealing algorithm was proposed, thereby improving the initial population diversity and avoiding the local optimal solution problem in sensor node selection. Finally the improved method was applied to locate wireless sensor network node, with Matlab respectively on the GA algorithm, SA algorithm and GSA algorithm simulation, and the advantages of GSA algorithm were verified for free wire sensing node self localization technology to provide a new reference.

Keywords Wireless sensor, Network node, Self localization algorithm, Genetic simulated annealing algorithm

无线传感器网络作为一种新兴技术,在工农业、城市管理、抢险救灾等许多领域都有重要的科研价值和应用前景,是目前学术界研究的热点问题之一。其中,传感器节点的定位是无线传感器网络中的一个基本和关键问题。WSN的定位问题可分为两类:1) WSN中节点自身的定位;2) WSN对外部目标的跟踪定位。其中,节点的自身定位是对外部目标进行跟踪定位的基础^[1],对各种应用均有着重要作用。随着WSN技术的发展,WSN的定位技术受到越来越多的关注。从1992年AT&TLaboratories Cambridge开发出室内定位系统Active Badge^[2]至今,研究者们一直致力于该领域的研究。

在国外,2003年Duckett T将同时定位和映射问题定义为全局优化问题,并利用GA来解决^[3]。Kannan A. A.等^[4]于2005年提出基于SA的定位算法SAL,SA的主要特征是可以尽量避免陷入局部最优解,但SAL的运行时间非常长,实时性差,无法应用于拓扑变化频繁的网络中。Terwilliger

M等^[5]于2005年提出基于ES的定位算法LESS,虽然LESS算法的运行时间较短,但它对网络的连通度有较高要求。Tam V等^[6]于2006年提出利用MGA(Micro-Genetic Algorithm)改进APS算法的GAL,由于不需要其他先验假设或定位知识,该方法通用性好,但该方法需要先利用APS进行粗略定位,然后再利用MGA进行定位优化,这增加了网络的计算量。Chehri A等^[7]于2008年提出基于DE的定位算法RC-DE,该算法复杂度较低,但当测距误差大、节点无线射程R较小或锚节点比率较低时,算法得到的定位精度较低。在国内,黄仑^[8]于2006年提出了基于GA的节点定位算法,通过优化初始种群、自适应调整适应度的选择操作以及加入误差修正算子等方法克服简单遗传算法(SGA)局部搜索能力不强的缺点,提高定位算法的性能。刘利姣^[9]于2007年分析了SGA的基本原理并将其应用在WSN的定位中,文中采用实数编码、轮盘赌算法和最优保存策略相结合的选择算子、算术交叉

本文受国家自然科学基金项目(61673190/F030101),华中师范大学中央高校探索创新项目(CCNU15A02060),湖北省教育厅科学研究项目(B2016207),黄冈师范学院科技创新团队项目(201613603),黄冈师范学院“信息与通信”重点学科建设项目,黄冈师范学院电子信息工程虚拟仿真实验项目资助。

熊志利(1979—),男,博士生,讲师,主要研究方向为智能信息处理与控制算法, E-mail: panda20052005@126.com; 瞿少成(1971—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为智能信息处理与控制、变结构控制理论与应用、通信系统与控制系统嵌入式产品开发。

算子等来改进 SGA, 提高算法的定位精度。张清国^[10]于 2008 年提出基于 GA 的定位算法, 使用基于下降的单顶点邻居变异操作 (Single-Vertex-Neighborhood Mutation Operator) 和基于下降的算术交叉操作 (Descend-based Arithmetic Cross over Operator)。本文从无线传感网络定位算法的基本原理、性能等方面进行分析, 得出定位算法的本质并进行分析; 然后以 4 种典型的优化为例, 对自定位技术进行研究, 从而提出一种新的自定位优化算法, 并对算法进行仿真验证。

1 定位算法概述

1.1 基本原理

目前, 定位算法通常通过测算节点之间的距离或角度来实现对不同节点的定位。而少数的定位测算原理通过节点连接度信息或干脆不用测距方法。在距离或角度的节点定位中, 根据节点边长和角度定位, 大致可以分为三角测量法、三边测量法、最小最大法等。

1) 三角测量

三角测量也称作方位定位法, 其具体原理如图 1 所示。

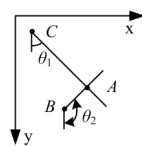


图 1 三角测量法

假设 $A(x_0, y_0)$ 为未知节点, 分别测得 $B(x_1, y_1)$ 和 $C(x_2, y_2)$ 两点发出信号的到达角度分别为 θ_1 和 θ_2 , 利用三角定理可以得到:

$$\tan(\theta_1, \theta_2) = \frac{x_0 - x_i}{y_0 - y_i} \quad (1)$$

由此, 通过式 (1) 可以得到 $A(x_0, y_0)$ 点的坐标位置。

上述测量方法测试次数越多, 对位置算法的精度也就越高。

2) 三边测量法

研究认为, 无线传感器网络节点大多在二维空间中, 因此, 在基于测距的定位算法中, 可以将三边测量法原理看成是求 3 个已知半径和坐标圆心的圆的交点。具体如图 2 所示。

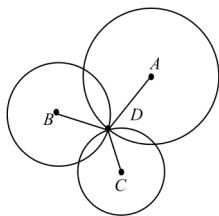


图 2 三边测量法的原理

对图 2 的求解中, 只需要利用二维空间的计算公式即可求解点 O 的坐标。而三边测量法在计算中没有考虑节点测距误差, 若误差过大, 3 个圆可能无法相交。

3) 最小最大法

该方法的基本思想是通过未知节点到各个已知节点的距离及坐标, 构造若干个限制框, 同时以已知节点为圆心, 以未知节点到参考节点的距离为半径, 构造圆的外接正方形。取这些正方形相互交叉的区域, 从而认为该较差的区域为所求解的未知节点的估算坐标。具体原理如图 3 所示。

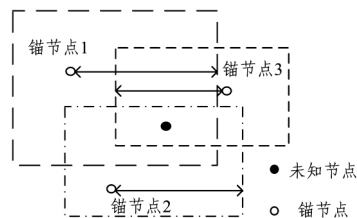


图 3 最小最大法的原理

但是, 该方法最大的缺点在于对锚节点的密度要求过高。

1.2 定位算法分类

目前, 针对无线传感器网络, 普遍按照以下几类进行分类:

1) 按照距离测距与否可划分为测距算法和非测距算法。

其中非测距算法的实用性差, 本文不做讨论; 而测距算法主要对节点距离进行测量, 从而计算最小的信号传播距离, 减少无线节点中的能量损耗。但是这种测距方法对硬件要求高, 如在规模较大且锚节点稀疏的网络中, 很多待测的锚节点不能直接与节点进行通信, 此时这种方法就很难进行定位。

2) 根据节点的连通度和拓扑结构进行划分, 可以分为单跳和多跳。

其中单跳算法相对简单, 但测量范围过小; 多跳算法的应用更为广泛, 在较大范围内两节点无法直接通信的情况较多时, 通常采用多跳通信。

3) 根据信息处理方法划分, 可分为分布式和集中式。

针对以监测和控制为主要目的算法, 因为其数据需要汇总, 所以大部分都采用集中式的算法。这种算法有定位精度高的优点, 但是其通信量很大。而分布式算法通常在采集到周边节点的信号后, 自身后台就执行定位算法, 从而大大降低了网络开销, 但是目前节点的计算能力、节点能量等受到很大限制。

2 几种典型的基于优化算法的定位算法分析

当前研究大部分集中在集中式定位算法, 而该类研究通常是从全局角度对传感器网络进行优化, 比较典型的包括遗传算法 (Genetic Algorithm, GA)、模拟退火算法 (Simulated Annealing Algorithm, SA)、进化策略 (Evolution Strategies, ES) 和差分进化算法 (Differential Evolution, DE), 这 4 种算法各有各的优势和特点, 但也存在不足。

GA 算法作为一种常用的优化算法, 被普遍应用在节点定位算法中。如 Tam V 提出的改进 GAL 定位算法, 通过选择最好的锚节点信息对平均误差值进行计算, 从而获取最优的平均误差, 同时在种群选择方面, 直接采用基于下降的变异和交叉操作。通过这种算法提高了精度, 但是减少了种群的多样性, 使得算法很容易陷入局部最优的问题。而 Rudolph 也通过实验验证了该算法不可能以概率 1 进行收敛。

SA 也是常用的优化算法。该算法是基于 Monte Carlo 迭代法的一种启发式随机搜索过程, 通常会按照 Metropolis 接受准则来判断其是否接受新的状态。在这个过程中, 其不仅需要接受让代价函数值变“好”的状态, 还必须接受让代价函数值变“差”的状态。因此, 正是因为这个特性, 其可以克服传统局部最优的问题, 大大提高了优化的精度。但是在代价函数中, 需要利用未知节点的邻居节点信息, 而这些信息很可能也是未知的。因此, 其位置信息带有较大的误差, 不利于未知节点的定位估计。

进化策略 (ES) 主要依据生物学上的优胜劣汰原则, 在生

物进化中产生的一种基于导向的随机搜索算法。这种算法运行时间短,但是对网络的连通性要求很高,同时对定位误差也没有规范化的处理方式。

差分进化算法(DE)是一种基于群体进化的算法,通过种群内个体间的合作与竞争实现对优化问题的求解,其本质是一种基于实数编码的具有择优思想的贪婪遗传算法。而通过仿真表明,该算法在均质性网络中的定位精度很高,但是对于非均质网络的误差则较大。

3 基于 GSA 的定位算法设计

3.1 定位算法的数学模型

假设在二维空间无线传感网络中存在 M 个锚节点,同时包含 N 个未知节点。假设向量 $\theta = [z_1, z_2, \dots, z_{M+N}]$, $z = [x_i, y_i]^T$ 。 M 个锚节点坐标为 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_M, y_M)$ 。因此,定位关系就是通过上述 M 个锚节点,求解与其有通信约束关系的 N 个未知点的坐标。从而得到其具体的计算公式为:

$$\min f(x, y) = \sum_{i=1}^M (\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} - d_i)^2 \quad (2)$$

其中, $f(x, y)$ 为误差。

3.2 基于模拟退火-遗传的定位算法

针对上述的节点数学模型,要使得其误差最小,就必须求解出最优的邻节点。因此,将上述问题的求解转换为最优求解问题。而针对传统遗传算法在局部最优方面存在的劣势,我们借助 SA 算法在局部最优求解方面存在的优势,提出一种基于 GSAL 的定位算法,其具体思路是针对 GA 具有较强的全局搜索性能但容易产生“早熟收敛”现象而陷入局部最优解和 SA 具有摆脱局部最优解的能力但进化速度慢的问题,提出在 GA 的选择策略中引入 SA 的 Metropolis 接受准则得到优化算法 GSA,从而可以增强种群的多样性,避免 GA 陷入局部最优解。具体算法流程如图 4 所示。

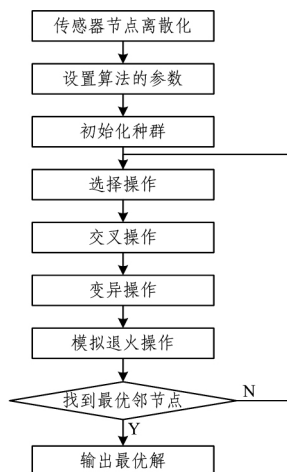


图 4 模拟退火-遗传定位算法

适应度函数为:

$$fitness(z) = \sum_{i=1}^{M=3} a_i^2 f_i^2(z) \quad (3)$$

$$T_0 = \frac{(f_{\max} - f_{\min})}{\ln P_0} \quad (4)$$

4 仿真结果比较

利用 MATLAB 软件对上述算法进行仿真,同时采用平

均误差进行性能评价。种群数量为 50,交叉概率为 0.9,变异概率为 0.07,初始接受概率为 0.85,降温系数为 0.95。将本文设计算法与 GAL 和 RCDE 算法进行比较,从而可以得到如图 5 所示的结果。

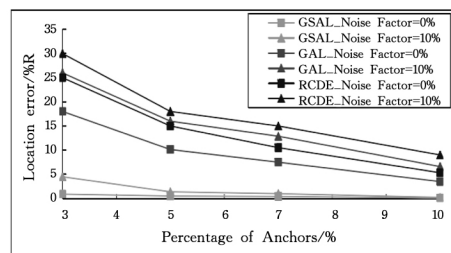


图 5 仿真结果比较

通过图 5 可以看出,随着锚节点比率的增加,其误差也越来越小,而 GSAL 定位算法的平均误差是最小的,从而说明该算法的精度最高。

结束语 本文通过对自定位算法的基本原理进行分析得出其本质就是最优问题的求解,同时通过对几种典型算法的分析,提出一种基于模拟退火-遗传的新定位算法,并用 MATLAB 仿真验证该方法的精度比其他算法高,从而为无线传感网络节点的定位提供了新的理论参考。但本文算法只适用于集中式传感网络中,对分布式定位还需要进一步研究。

参考文献

- [1] SAVARESE C, RABAEY J M, BEUTEL J. Locationing in Distributed Ad-hoc Wireless Sensor Network[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal. (ICASSP). IEEE Computer Society, 2001: 2037-2040.
- [2] WANT R, HOPPER A, FALCAO V, et al. The Active Badge Location System[J]. Journal of ACM Transactions on Information Systems (TOIS), 1992, 10(1): 91-102.
- [3] DUCKETT T. A Genetic Algorithm for Simultaneous Localization and Mapping[C]//Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Robotics & Automation. 2003: 434-439.
- [4] KANNAN A A, MAO G Q, VUCETIC B. Simulated Annealing Based Localization in Wireless Sensor Network[C]//Proceedings of the 30th IEEE Conference on Local Computer Networks. 2005: 513-514.
- [5] TERWILLIGER M, GUPTA A, KHOKHAR A, et al. Localization Using Evolution Strategies in Sensornets[C]//The 2005 IEEE Congress on Evolutionary Computation 2005. 2005: 322-327.
- [6] TAM V, CHENG K Y, LUI K S. Using Micro-genetic Algorithms to Improve Localization in Wireless Sensor Networks[J]. Journal of Communications, 2006, V1(4): 1-10.
- [7] CHEHRI A, FORTIER P, TARDIF P M. Geo-location with Wireless Sensor Networks using Non-linear Optimization[J]. International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS), 2008, 8(1): 145-154.
- [8] 黄仑. 无线传感器网络定位算法研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2006.
- [9] 刘利姣. 无线传感器网络节点自定位研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2007.
- [10] ZHANG Q G, WANG J H, JIN C. Genetic Algorithm Based Wireless Sensor Network Localization[C]//Fourth International Conference on Natural Computation. 2008: 608-613.