

无线传感器网络自适应蚁群定位算法研究

张淋江¹, 乔芃喆²

(1. 河南牧业经济学院 网络管理中心, 河南 郑州 450011; 2. 河南牧业经济学院 信息工程系, 河南 郑州 450011)

摘 要:针对蚁群定位算法可能出现局部最优解而导致定位不准确的问题,提出了无线传感器网络自适应蚁群定位算法。通过将节点估计坐标移动方向离散化,将传感器定位问题转换成离散组合最优问题。定位过程中通过聚度和信息权重对传感器节点估计坐标向各个方向移动的概率进行修正,解决了定位结果收敛于局部最优解的问题。仿真结果表明,自适应蚁群定位算法比传统蚁群定位算法具有更低的定位误差。

关键词:无线传感器网络;自适应蚁群算法;组合优化;定位算法;定位误差;估计坐标

中图分类号:TP212.9 **文献标识码:**A

Study on Localization Algorithm Based on Adaptive Ant Colony Optimization for Wireless Sensor Networks

ZHANG Linjiang¹, QIAO Pengzhe²

(1. Network Management Center, Henan University of Animal Husbandry and Economy, Zhengzhou 450011, China; 2. Dept. of Information Engineering, Henan University of Animal Husbandry and Economy of Information Engineering, Zhengzhou 450011, China)

Abstract: Focusing on the problem of local optimal result of ant colony localization algorithm, a localization algorithm based on adaptive ant colony optimization for wireless sensor networks is proposed. By discretization of node's estimated coordinate moving direction, the sensor localization problem is transformed to a discrete combinatorial optimization problem. The updating probability of sensor's estimated coordinate moving direction is modified by polymerization degree and information weight in localization process, the problem of localization result converging to local optimal result is solved. The simulation results show that the localization error of localization algorithm based on adaptive ant colony algorithm is lower than that of localization algorithm based on ant colony algorithm.

Key words: wireless sensor networks; adaptive ant colony algorithm; combinatorial optimization; localization algorithm; localization error; estimated coordinate

0 引言

无线传感器网络(WSNs)^[1-6]具有部署方式灵活、人工干预少等特点,在军事和民用领域都具有广泛的应用前景。无线传感器网络执行任务前需对各传感器节点进行定位,定位方法包括基于测距技术和无需测距技术等^[7-11]。文献[3]对距离矢量定位算法进行了改进。文献[5]提出了结合粒子群优化和加权质心的定位算法。文献[8]提出了结合梯度下降法和离群检测技术的定位算法。文献[12]研究了结合接收信号强度指示(RSSI)和凸规划的定位算法。文献[15]提出了改进的移动锚节点凸规划定位算法。蚁群算法作为优秀的智能算法,能很好地

解决离散组合优化问题。在传感器网络定位问题中,通过将传感器节点估计坐标运动方向进行离散化,可将蚁群算法用于传感器网络定位。蚁群算法通过多次循环计算求解各传感器节点的位置,较适于具有能量资源丰富的中心计算节点的集中式传感器网络定位问题^[12-15]。此时其他节点只需将信息传递给中心计算节点,由中心计算节点进行解算,降低了其他节点的计算能耗。文献[16-17]中蚁群算法通过选择信息素浓度最大的路径来寻找最优解,在运算过程中会出现求解结果为局部最优而不是全局最优的问题。针对蚁群算法的缺点,提出了基于自适应蚁群算法的传感器网络定位算法。通过引入聚

收稿日期:2015-03-31

基金项目:河南省重大科技专项基金资助项目(121100111000);河南省高等学校重点科研基金资助项目(15A520002)

作者简介:张淋江(1975-),男,河南南阳人,工程师,硕士,主要从事电气电路设计与运行、自动控制、无线传感器网络的研究。

度和信息权重对传感器节点估计坐标在各个方向上的移动概率进行修正,解决了求解过程陷入局部最优的问题。仿真结果表明,自适应蚁群定位算法比传统蚁群定位算法具有更高的定位精度。

1 问题分析

未知坐标传感器节点(以下简称节点) i 在 t 时刻的估计坐标表示为 $(x_i(t), y_i(t))$, $i \in [1, N_u]$,其中 N_u 为未知坐标节点的个数。所有未知坐标节点在 t 时刻的估计坐标可表示为估计坐标矩阵

$$P(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) & x_2(t) & \cdots & x_{N_u}(t) \\ y_1(t) & y_2(t) & \cdots & y_{N_u}(t) \end{bmatrix} \quad (1)$$

假设无线传感器网络具有测距功能,能准确测量两个节点间的距离,称为实测距离。另外,两个节点间的距离也可由节点的坐标计算得到,称为求解距离。定义表征求解距离与实测距离间的误差函数为

$$\begin{cases} F(\{(x_1, y_1), \dots, (x_{N_u}(t), y_{N_u}(t))\}) = \\ \sum_{i=1}^{N_u} \sum_{j=1}^{N_{ni}} (d_{ij} - d'_{ij})^2 \\ d_{ij} = \sqrt{(x_i - x'_j)^2 + (y_i - y'_j)^2} \end{cases} \quad (2)$$

式中: N_{ni} 为节点 i 的相邻节点的个数; d_{ij} 为根据估计坐标计算的节点间的求解距离; (x_i, y_i) 为节点 i 的估计坐标; d'_{ij} 为节点间的实测距离。若节点 j 位置已知, (x'_j, y'_j) 为其真实坐标,否则为其估计坐标。无线传感器网络定位的目的是改变 $P(t)$ 中每一列的值,使其逼近传感器节点的真实坐标,相当于使节点与其相邻节点之间的求解距离与两者间的实测距离一致。即合理选择 $P(t)$ 中元素的值,使误差函数 F 的值最小。

2 算法模型

蚁群算法通过模拟蚂蚁寻找食物时对路径的选择来求解最短路径,多次循环计算蚂蚁遍历所有节点的最短路径得到问题的解。蚁群算法用节点各个路径上的信息素浓度作为蚂蚁在该节点时选择路径的依据,通过循环计算蚂蚁遍历所有节点后得到的最短路径作为问题最优解。在无线传感器网络定位算法中,假定节点估计坐标逼近真实坐标是通过在 S 个方向上移动来实现。用信息素浓度作为节点估计坐标选择移动方向的依据,第 i ($i=1, \dots, N_u$)个节点在方向 v_s 上的初始信息素浓度值 τ_{iv_s} 为固定值

C 。

设有 m 只蚂蚁随机分布在传感器网络的 n 个节点上。 $tabu_k$ 存储第 k 只蚂蚁遍历过的节点, Co_k 存储第 k 只蚂蚁遍历节点的估计坐标值。第 t 时刻蚂蚁 k 位于节点 a 上,将 a 和 a 的估计坐标值分别加入 $tabu_k$ 和 Co_k 中。第 $t+1$ 时刻蚂蚁 k 随机移动到其未遍历的传感器节点 b 上,将 b 和 b 的估计坐标值分别加入 $tabu_k$ 和 Co_k 中。同时对节点的估计坐标值进行更新,更新公式为

$$\begin{bmatrix} x_a(t+1) \\ y_a(t+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_a(t) \\ y_a(t) \end{bmatrix} + \lambda(q) v_s \quad (3)$$

式中: $\lambda(q) > 0$,为节点 a 在第 q 次循环时的移动步长, $\lambda(q+1) = \zeta \lambda(q)$, ζ 为步长缩减系数, $0 < \zeta < 1$; v_s 为移动方向向量,则有

$$v_s = \begin{cases} (0, 0)^T & s=0 \\ \left[\cos\left(\frac{2\pi s}{S}\right), \sin\left(\frac{2\pi s}{S}\right) \right]^T & s=1, 2, \dots, S \end{cases} \quad (4)$$

若将估计坐标值不变也作为一种移动,则总的移动方向有 $S+1$ 种,即传感器节点 a 从 t 时刻的估计坐标值移动到 $t+1$ 时刻的估计坐标值有 $S+1$ 种可能。节点的移动方向由各个方向上的信息素浓度决定。为防止节点总是朝着信息素浓度较大的方向移动而出现局部最优解的情况,需对节点在各个移动方向上的移动概率进行修正。定义节点 a 的聚度为

$$sta(a) = \sqrt{\sum_{s=0}^S \left(\frac{m}{S+1} - h_s \right)^2} \quad (5)$$

式中: h_s 为在 $t-1$ 时刻节点朝着 v_s 方向移动的次数; $sta(a)$ 反应了节点 a 选择移动方向时的集中度。当节点 a 朝各个方向移动的概率相同时, $sta(a) = 0$ 。当节点 a 朝着一个方向移动时, $sta(a)$ 取最大值 $sta(a)_{\max}$ 。

$$sta(a)_{\max} = m \sqrt{\frac{S}{S+1}} \quad (6)$$

通过节点 a 的聚度来确定该节点可选择的移动方向数

$$N_d = \left\lceil \frac{sta(a)}{sta(a)_{\max}} S + 0.5 \right\rceil + 1 \quad (7)$$

将节点 a 的各个移动方向按照信息素浓度从高到底进行排列得到结果 $rank$ 。移动方向 v_s 在 $rank$ 中的位置用 $rank_{v_s}$ 表示,定义节点 a 在 v_s 方向上的

信息权重 ξ_{av_s} 为

$$\xi_{av_s} = \begin{cases} \left(\frac{N_d}{S+1}\right)^{rank_{v_s}-1} & rank_{v_s} \leq w \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

节点 a 坐标在方向 v_s 上的移动概率 p_{av_s} 为

$$p_{av_s} = \frac{\xi_{av_s} \tau_{av_s}}{\sum_{s=0}^S \xi_{av_s} \tau_{av_s}} \quad (9)$$

选择使 p_{av_s} 最大的方向 v_s 为估计坐标值的移动方向,代入式(3)计算节点的新坐标。如果各方向上的 p_{av_s} 相同,则随机选择一个方向作为移动方向。

当所有蚂蚁都遍历完所有未知坐标节点后,可得到 m 组传感器网络节点的估计坐标值 $Co_i (i=1, \dots, m)$, 分别计算各组估计坐标值的误差函数 F_i , 记录使 F_i 最小的坐标值 Co_{min} 和蚂蚁的编号 ant 。更新各个传感器节点在每个移动方向上的信息素浓度,节点 i 在方向 v_s 上信息素浓度公式为

$$\tau_{iv_s}(q+1) = \begin{cases} \rho \tau_{iv_s}(q) + Q & v_s \text{ 是蚂蚁在节点 } i \text{ 时} \\ & \text{节点的估计坐标移动方向} \\ \rho \tau_{iv_s}(q) & \text{其他} \end{cases} \quad (10)$$

式中: ρ 为信息素衰减率; Q 为常数,表示蚂蚁 ant 对节点估计坐标移动方向上信息素浓度贡献值。

重复上述过程,直到循环次数达到设定的次数或者所有蚂蚁记录的估计坐标值都相同为止。此时即为各未知传感器节点的最佳估计坐标值。无线传感器网络自适应蚁群定位算法流程图如图1所示。

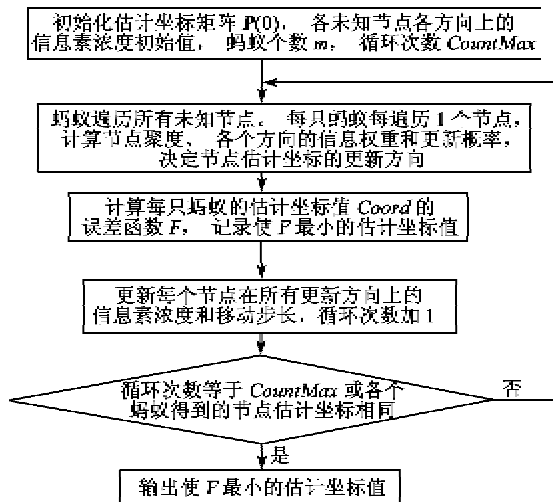


图1 算法流程图

3 算法仿真及结果分析

仿真区域为 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ 的正方形区域,在仿真区域内部署 10 个已知坐标节点(锚节点)。100 个待定位的节点随机部署在仿真区域内,节点部署好后位置不能改变。蚂蚁数目 $m=50$,更新方向 $S=8$,分别为 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ$ 和 315° ,每个节点在各个移动方向上的初始信息素浓度 $C=50$,初始移动步长 $\lambda(0)=0.5 \text{ m}$, $\zeta=0.9$, $\rho=0.8$, $Q=5$,最大循环次数为 50,实验次数 $N_{\text{test}}=30$,通信半径 $R=20$ 。定义节点 i 的定位误差 E_i 和总体定位误差 E_{all} 为

$$E_i = \frac{\sum_{l=1}^{N_{\text{test}}} \sqrt{(x_i - x'_i)^2 + (y_i - y'_i)^2}}{N_{\text{test}} R} \times 100\% \quad (11)$$

$$E_{\text{all}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_u} E_i}{N_u} \times 100\% \quad (12)$$

式中 (x_i, y_i) 为第 l 次试验时节点 i 的估计坐标。

3.1 定位误差比较

对蚁群算法定位和自适应蚁群算法定位的结果进行比较。两种定位算法中各个节点的定位误差如图2所示。

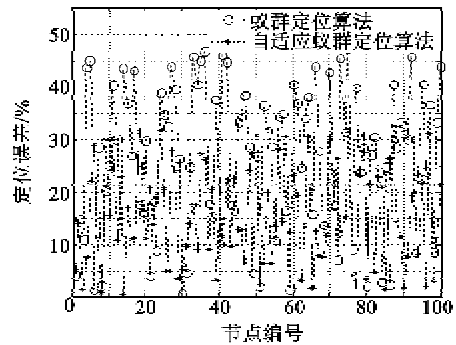


图2 节点定位误差图

由图2可知,对100个节点进行定位时,自适应蚁群算法定位的定位误差最大值为34%,蚁群算法定位的定位误差最大值为48%,前者的定位误差普遍小于后者的定位误差。计算两种方法的总体定位误差,自适应蚁群算法定位为16%,蚁群算法定位为24%,自适应蚁群算法定位比蚁群算法定位更准确,导致这种差异的原因是自适应蚁群算法考虑了聚度和信息权重的影响,有效地避免了局部最优解的出现^[18-20]。

3.2 移动方向数量对定位结果的影响

其他参数不变,仿真移动方向数量为 4、8、16、32 和 64 时的自适应蚁群算法定位结果,各种情况下的总体定位误差如表 1 所示。

表 1 不同移动方向定位误差

移动方向	4	8	16	32	64
定位误差/%	28	15	7	6	6

由表 1 可知,随着移动方向数量增多,节点的总体定位误差减小,减小的趋势逐渐变缓。这是由于节点的真实坐标可能在估计坐标的任意方向上,对估计坐标的移动方向进行划分限制了估计坐标向真实坐标靠近的能力,一般情况下估计坐标不能与真实坐标完全重合。增加估计坐标的移动方向数量,相当于增加了估计坐标正对真实坐标移动的可能性,因此可提高节点的定位精度,降低节点定位误差。但是增加估计坐标移动方向数量时,每次坐标移动中的运算量都增大,导致定位过程中的总运算量急剧增大,定位时间延长,需要根据实际应用选择移动方向的数量,一般选择 8 较合适。

3.3 网络规模对定位结果的影响

假设区域内锚节点的数量占节点总数的 10%,其他参数不变,仿真节点总数为 50、80、110、140、170 和 200 时的自适应蚁群算法定位结果,各种情况下的总体定位误差如表 2 所示。

表 2 不同网络规模定位误差

节点总数	50	80	110	140	170	200
定位误差/%	22	19	17	12	8	9

由表 2 可知,在锚节点的比例不变时,随着网络规模的增大,总体定位误差呈现先减小后增大的趋势。这是由于当网络规模较小时,各个节点在区域内较分散,定位时能利用的锚节点的信息较少,因此总体定位误差较大。网络规模增大,定位时可利用的锚节点的信息增多,总体定位误差减小。当网络规模达到一定程度时,定位时能利用的锚节点的信息已足够多,网络规模进一步增大时,待定位节点的数目增多会导致总体定位误差增大。

3.4 锚节点比例对定位结果的影响

网络中节点数目为 100,其他参数不变,仿真锚节点比例为 5%、10%、15%、20% 和 25% 时的自适应蚁群算法定位结果,各种情况下的总体定位误差如表 3 所示。

表 3 不同锚节点比例定位误差

锚节点比例/%	5	10	15	20	25
定位误差/%	31	26	19	17	16

由仿真结果可知,随着锚节点比例增大,总体定位误差减小,减小的趋势逐渐变缓。这是由于锚节点数量增多时,定位中能利用的锚节点信息增多,总体误差减小。当锚节点数量增大到一定程度时,定位中利用的锚节点的信息已足够,此时再增加锚节点的数量对定位精度的贡献不大,因此需要合理选择锚节点的比例,避免资源浪费。

4 结束语

本文提出了一种无线传感器网络自适应蚁群定位算法。通过离散化传感器节点估计坐标移动方向,将无线传感器网络定位问题转换成离散组合最优问题。针对传统蚁群算法求解离散组合问题时易陷入局部最优的缺点,在运算过程中引入聚度和信息权重来避免定位结果陷入局部最优。仿真结果表明该算法比传统的蚁群算法具有更高的定位精度。

参考文献:

- [1] 代小红. 基于无线传感器的智能检测输液系统设计[J]. 压电与声光, 2014, 36(6): 972-976.
DAI Xiaohong. Design of intelligent monitoring transfusion system based on wireless sensor[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2014, 36(6): 972-976.
- [2] 彭宇, 王丹. 无线传感器网络定位技术综述[J]. 电子测量与仪器学报, 2011, 25(5): 389-399.
PENG Yu, WANG Dan. A review: wireless sensor networks localization[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2011, 25(5): 389-399.
- [3] 赵乃卓, 于贺. 无线传感器定位算法在井下漏电故障中的应用[J]. 压电与声光, 2013, 35(4): 595-598.
ZHAO Naizhuo, YU He. Application of the localization algorithm of wireless sensor to leakage fault of underground coal mine[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2013, 35(4): 595-598.
- [4] 吴伟, 于成龙. 基于无线传感器网络的移动目标跟踪系统研究[J]. 压电与声光, 2014, 36(1): 147-149.
WU Wei, YU Chenglong. Study on moving target tracking system based on wireless sensor networks[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2014, 36(1): 147-149.
- [5] 张先超, 刘兴长, 张春园. 基于次锚节点的无线传感器网络改进加权质心定位算法[J]. 传感器与微系统, 2015, 34(2): 143-146.
ZHANG Xianchao, LIU Xingchang, ZHANG Chunyuan. Improved weighted centroid localization algorithm for WSNs based on secondary anchor nodes[J].

- Transducer and Microsystem Technologies, 2015, 34(2):143-146.
- [6] 毛冬冬,王超. 无线传感器网络的目标跟踪算法[J]. 压电与声光, 2011, 33(6):993-995.
MAO Dongdong, WANG Chao. Targettracking in wireless sensor networks[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2011, 33(6):993-995.
- [7] 陈帅,钟先信,刘积学,等. 无线传感器网络的新进展与应用[J]. 压电与声光, 2006, 28(3):297-299.
CHEN Shuai, ZHONG Xianxin, LIU Jixue, et al. New development and application of wireless sensor networks [J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2006, 28(3):297-299.
- [8] 罗臻,刘宏立,徐琨. 基于 RSSI 的无线传感器网络迭代安全定位算法[J]. 传感器与微系统, 2015, 34(1):116-119.
LUO Zhen, LIU Hongli, XU Kun. RSSI-based iteration secure localization algorithm for WSNs [J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2015, 34(1):116-119.
- [9] YU N, WAN J. SL-R distributed localization algorithm for wireless sensor networks[C]//Shanghai: Proceedings of IEEE International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2007.
- [10] HE Tian, HUANG Chengdu, MB B, et al. Range-free localization schemes for large scale sensor networks [C]//San Diego, c, California, USA: Proceedings of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, 2006.
- [11] DONG B, MAHDY A M. Underwater wireless sensor networks; Efficient schemes using semidefinite programming[J]. International Journal on Advances in Networks and Services, 2010, 3(1):186-195.
- [12] 马俊,王敬东,温家旺,等. RSSI 与凸规划结合的无线传感器网络定位算法[J]. 指挥控制与仿真, 2013, 35(4):56-61.
MA Jun, WANG Jingdong, WEN Jiawang, et al. A new positioning algorithm combining RSSI and convex in wireless sensor network[J]. Command Control & Simulation, 2013, 35(4):56-61.
- [13] 张婷,何泾沙,李晓会. 无线传感器网络中安全的集中式定位方法[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(Suppl):384-388.
ZHANG Ting, HE Jingsha, LI Xiaohui. Secure centralized localization for wireless sensor networks[J]. JHuazhong Univ of Sci & Tech(Natural Science Edition), 2012, 40(Suppl):384-388.
- [14] 向满天,罗嗣力,戴美思. 无线传感器网络中一种改进的凸规划定位算法[J]. 传感技术学报, 2014, 27(8):1138-1142.
XIANG Mantian, LUO Sili, DAI Meisi. An improved convex localization algorithm in wireless sensor network[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2014, 27(8):1138-1142.
- [15] 任克强,庄放望. 移动锚节点凸规划定位算法研究及改进[J]. 传感技术学报, 2014, 27(10):1406-1411.
REN Keqiang, ZHUANG Fangwang. Research and improvement of mobile anchor node localization algorithm based on convex programming [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2014, 27(10):1406-1411.
- [16] 唐彤兰. 无线传感器网络节点自定位技术与无线传感器网络开发平台研究[D]. 杭州:浙江大学, 2007.
- [17] 徐云剑. 基于蚁群算法的无线传感器网络节点定位技术的研究与分析[D]. 长沙:湖南师范大学, 2009:41-47.
- [18] 高玉章,薛兴亮,高丽. 无线传感器网络对边界目标的跟踪能力分析[J]. 四川兵工学报, 2014(2):112-115.
- [19] 唐松,尼玛扎西,格桑多吉,等. ZigBee 无线传感器网络在西藏粮仓监测中的应用[J]. 重庆理工大学学报(自然科学版), 2014(8):92-97.
TANG Song, NIMA Zhaxi, GESANG Duoqi, et al. Application of tibetan granary monitoring research-based on zigbee wireless sensor network[J]. Journal of Chongqing University of Technology(Natural Science), 2014(8):92-97.
- [20] 唐宏,夏小霞,杨浩澜,等. 基于链路质量的 Ad hoc 网络遗传-蚁群路由算法[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2014, 26(5):569-575.
TANG Hong, XIA Xiaoxia, YANG Haolan, et al. Genetic and ant colony collaborative routing algorithm based on link quality in Ad hoc network[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications(Natural Science Edition), 2014, 26(5):569-575.

(上接第 177 页)

- [7] 孙立瑛,李一博,靳世久,等. 充液管道中声发射波的传播及衰减特性研究[J]. 压电与声光, 2008, 30(4):401-403.
SUN Liying, LI Yibo, JIN Shijiu, et al. Study on propagation and attenuation characteristics of acoustic emission wave propagation along fluid loaded pipeline[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2008, 30(4):401-403.
- [8] 曹翌佳,王靖岱,阳永荣. 声波信号多尺度分解与固体颗粒质量流率的测定[J]. 化工学报, 2007, 58(6):1044-1049.
- [9] CYCIL M, CHARLES E C. Shock and vibration handbook[M]. 2th ed. New York: King Sport Press, 1976.