

3.4 最优路径评价公式

传统蚁群算法依据路径最短评价指标寻找最优路径, 仅仅考虑路径的距离长短, 评价指标非常单一, 本文算法评价指标引入了节点平均剩余能量、节点最小剩余能量、最短路径长度、条数、节点剩余能量方差.

$$f_m^k = \frac{E_{\text{aver}} \times E_{\text{min}}}{L_m^k \times H_m^k \times D_m^k} \quad (11)$$

其中, E_{aver} 表示节点平均剩余能量, E_{min} 表示路径所经过节点中消耗能量的最小值, L_m^k 表示第 m 只蚂蚁第 k 次迭代后走过的路径长度, H_m^k 表示第 m 只蚂蚁第 k 次迭代后走过的路径上的节点个数, D_m^k 表示第 m 只蚂蚁第 k 次迭代后走过的路径上所有的节点剩余能量值的标准差.

f_m^k 的数值越大代表的路径越好, 每迭代完一次将 f_m^k 最大值对应的路径作为本次迭代最优路径, 然后更新此路径上的信息素, 便于后继的蚂蚁寻找路径时优先考虑这条路径, 所有的迭代完成后即可选出符合上述条件的最优路径. 评价指标中引入节点剩余能量标准差, 有利于最优路径上各节点剩余能量值大小接近. 如果各节点剩余能量值悬殊太大, 这样的路径可能发送一次完整数据就出现了死亡节点, 此条路径就不能继续使用, 必须重新寻找一条最优路径.

4 仿真实验及结果分析

为了验证上述的优化蚁群算法 DDEARA 的有效性, 采用蒙特卡洛方法进行计算机模拟仿真实验. 在一个 (10×10) 的范围内, 随机布置 $S (S = 100)$ 个传感器节点. 为了便于描述且不失一般性, 不妨设点 $(0, 0)$ 为起始发送节点, 点 $(10, 10)$ 为终端 sink 节点, 整个仿真实验中共有 $t (t = 100)$ 代蚂蚁且每一代蚂蚁有 $n (n = 100)$ 只. 每次传输 2000 bit 数据. 仿真结果如图 4.

4.1 最优路径连线图

图 4 对比了 ARA、IARA、OARA、DEARA、DDEARA 5 种算法最终收敛的最优路径连线图, 直观显示了各种算法路径经过的节点个数以及节点分布情况.

从表 1 中可以看出 ARA、OARA、IARA 算法各方面性能效果都差, 由于 ARA、OARA 算法路径中参与的中间节点个数非常少, 导致收敛路径消耗的能量也非常小, 但是相邻节点之间的距离很大. IARA 算法中参与的中间节点过多, 尤其是存在很多反向节点, 导致最终收敛路径长度较长以及路径耗能非常大. DEARA

算法相比上述 3 种算法收敛效果明显改善, 最优路径长度适中, 最关键的是相邻节点距离适中, 但路径中仍然有较多中间节点尤其是反向的无关节点, 导致路径消耗的能量仅次于 IARA 算法. DDEARA 算法相比上述 4 种算法性能效果最好, 最优路线长度短, 相邻节点之间距离适中, 参与的中间节点个数合理, 路径消耗的能量也很合理. 由此可见动态半径搜索因子能够提高算法收敛能力, 能量预测因子能够减少节点能量消耗, 方向因子能够避免反向无关节点选取.

图 4 5 种对比算法最优路径连线图

表 1 不同算法性能对比

算法	路线长度(m)	中间节点个数(个)	路径传播消耗能量(J)	耗能分析
ARA	16.20	8	2.82	4、5节点之间距离为7.5, 消耗能量较大
OARA	18.29	5	3.20	2、3节点之间距离为9, 消耗能量较大
IARA	27.84	34	42.24	存在较多反向无关节点, 能量浪费很严重
DEARA	23.43	27	26.33	存在部分反向无关节点, 能量浪费较严重
DDEARA	16.65	15	5.96	能量消耗均衡, 浪费较小

4.2 节点消耗总能量、剩余总能量

图 5 对比了 ARA、IARA、OARA、DEARA、DDEARA 5 种算法各个节点最终平均能量消耗和剩余能量情况, 直观显示了各个节点能耗分布情况.

从图 5 中可以看到, ARA、OARA、IARA 算法出现节点消耗能量值 $E_2 (E_2 > 1J)$ 、剩余能力值 $E_1 (E_1 < 0J)$ 的不合理现象, 而 DEARA、DDEARA 算法中节点消耗能量值 $E_2 (E_2 \leq 1J)$ 、节点剩余能量值 $E_1 (E_1 \geq 0.1J)$,

能量预测因子避免了节点能量过度消耗, 不会出现节点剩余能量值为负的不合理现象。

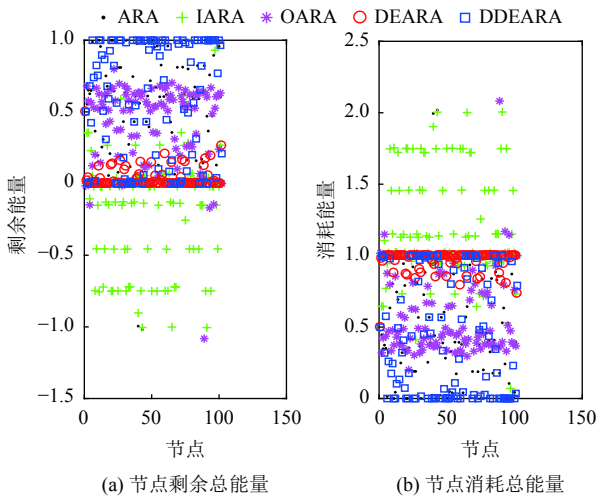


图5 5种算法节点能耗

4.3 DEARA、DDEARA 算法节点能耗

图6对比了DEARA、DDEARA 2种算法各个节点平均能量消耗和剩余能量情况, 直观显示了各个节点能耗分布情况。

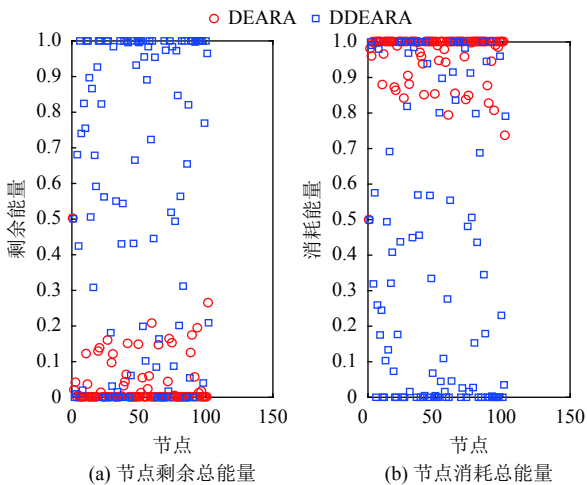


图6 DEARA、DDEARA 算法节点能耗

图6显示了在DEARA算法中节点消耗能量值 E_2 普遍在(0.8-1J)范围内, 剩余能量值 E_1 普遍在(0-0.2J)范围内. 在DDEARA算法中接近2/3的节点产生了能量消耗且能量消耗值均匀分布在(0-1J)范围内. 表明DDEARA算法中参与的节点数目适中, 节点位置分布均匀。

4.4 DEARA、DDEARA 算法每一代节点死亡个数

图7对比了DEARA、DDEARA 2种算法每一轮迭代过程中出现的死亡节点个数, 直观显示了首次出现死亡节点的迭代次数, 以及每一代死亡节点个数分布情况。

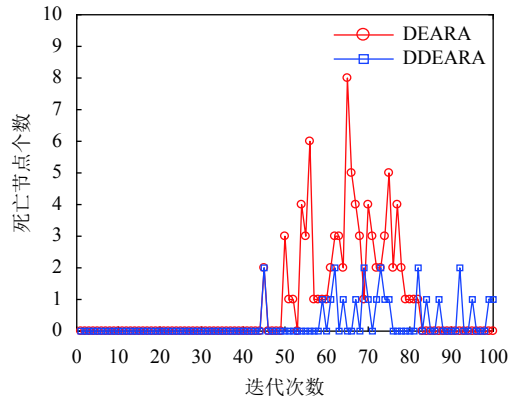


图7 DEARA、DDEARA 算法每一代死亡节点个数

由图7可知DEARA和DDEARA算法都是在45代首次出现了死亡节点. DEARA算法单次迭代死亡节点个数最多为8个, 而DDEARA单次迭代死亡节点个数最多为2个. DDEARA算法死亡节点个数以及死亡节点出现的代数明显优于DEARA算法。

4.5 DEARA、DDEARA 算法收敛路径长度

图8对比了DEARA、DDEARA算法最终收敛路径的长度, 直观显示了两种算法在整个迭代过程中最优路径的长度趋势。

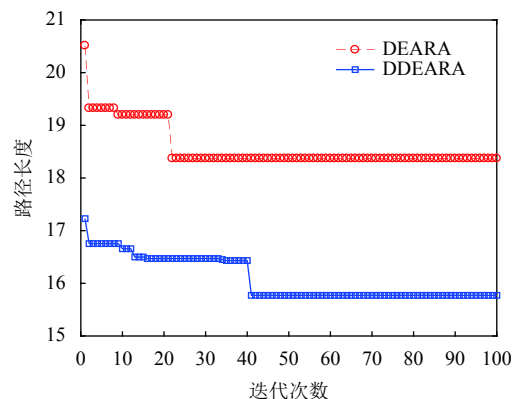


图8 DEARA、DDEARA 算法收敛路径长度

图8显示DEARA算法最终收敛路径长度在18.37, DDEARA最终收敛路径长度在15.77, DDEARA算法由于方向因子的引入, 避免选取反向无关节点, 使得寻

优效果非常好,收敛路径更短.

5 结论与展望

针对现有的蚁群算法无法保证路径最终收敛,节点能量过度消耗,路径上存在无关节点等情况.本文首先通过引入动态半径搜索因子和能量预测因子,提出了改进的蚁群算法 DEARA,一方面动态半径搜索因子能够保证蚁群算法最终收敛并提高了蚁群算法的收敛效果.另一方面能量预测因子使得节点能耗均匀且不会出现消耗完节点剩余能量却不能成功传输完整数据的情况.但是在 DEARA 算法收敛路径中仍然存在部分反方向的无关节点,因此在 DEARA 算法基础上通过引入方向因子提出了 DDEARA 算法,方向因子避免了路径中反方向无关节点的选取,优化效果非常明显.经过“三步递进式”的蚁群算法优化,首先,使得最终的最优路径长度较短,经过的中间节点数目适中且位置分布均匀.其次,使得节点能耗较少,不会出现某区域节点集中死亡的现象.最后,使得路径上没有反方向的无关节点存在,减小路径长度,节约节点能耗.“三步递进式”蚁群算法 DDEARA 寻优能力更强且寻优效果更好,提高了无线传感器网络的使用性能和寿命.

未来一方面可以着重研究“过载”节点能耗问题,本文没有考虑某个节点被多条路径同时选中为下一跳节点的情况,这样的“过载”节点由于承担多条线路的数据传输任务,导致这样的“过载”节点耗能严重,相比其他节点过早成为死亡节点,严重影响网络使用寿命.未来应该考虑节点的“负重”系数,严格限制节点同时被多条路径经过.另一方面可以考虑路径中一旦出现死亡节点之后,怎么样快速寻找其他节点代替死亡节点,恢复正常工作.

参考文献

- 1 Yang X, Deng DT, Liu MF. An overview of routing protocols on wireless sensor network. Proceedings of the 2015 4th International Conference on Computer Science and Network Technology. Harbin, China. 2015. 1000–1003.
- 2 Lei F, Yao L, Zhao D, *et al.* Energy-efficient abnormal nodes detection and handlings in wireless sensor networks. IEEE Access, 2016, 5: 3393–3409.
- 3 李丽芬, 张君艳, 朱永利, 等. 基于多蚁群算法的无线传感器网络路由的跨层设计. 计算机科学, 2011, 38(2): 59–62, 94. [doi: 10.3969/j.issn.1002-137X.2011.02.013]
- 4 梁华为, 陈万明, 李帅, 等. 一种无线传感器网络蚁群优化路由算法. 传感技术学报, 2007, 20(11): 2450–2455. [doi: 10.3969/j.issn.1004-1699.2007.11.022]
- 5 焦斌, 熊友平, 顾幸生. 改进的蚁群优化算法在无线传感器网络中的应用. 吉林大学学报(工学版), 2011, 41(S1): 215–219.
- 6 罗旭, 吴晓军. 蚁群优化算法在 WSN 路由中的应用研究. 计算机工程与科学, 2015, 37(4): 740–746. [doi: 10.3969/j.issn.1007-130X.2015.04.018]
- 7 侯梦婷, 赵作鹏, 高萌, 等. 采用角度因子的蚁群优化多路径路由算法. 计算机工程与应用, 2017, 53(1): 107–112. [doi: 10.3778/j.issn.1002-8331.1604-0176]
- 8 王海峰. 一种基于蚁群算法的无线传感器网络能耗研究 [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2015.
- 9 Heinzelman WB, Chandrakasan AP, Balakrishnan H. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2002, 1(4): 660–670. [doi: 10.1109/TWC.2002.804190]
- 10 杜洋, 翁乾倩, 文德钢. 基于 SOS 模型和查表法的平坦 Rice 信道模拟器. 微型机与应用, 2013, 32(3): 49–51, 54. [doi: 10.3969/j.issn.1674-7720.2013.03.016]
- 11 Colomi A, Dorigo M, Maniezzo V. Distributed optimization by ant colonies. Proceedings of the first European Conference on Artificial Life. Paris, France. 1992. 134–142.
- 12 Liao TJ, Stützle T, Montes de Oca MA, *et al.* A unified ant colony optimization algorithm for continuous optimization. European Journal of Operational Research, 2014, 234(3): 597–609. [doi: 10.1016/j.ejor.2013.10.024]
- 13 Dorigo M, Gambardella LM. Ant colony system: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 1997, 1(1): 53–66. [doi: 10.1109/4235.585892]
- 14 凌春, 孙文胜. 基于改进蚁群算法的无线传感器网络路由. 计算机工程与设计, 2019, 40(3): 627–631, 637.
- 15 Stutzle T, Hoos H. The MAX-MIN ant system and local search for the traveling salesman problem. Proceedings of 1997 IEEE International Conference on Evolutionary Computation. Indianapolis, IN, USA. 1997. 309–314.