

一种面向传感器网络的蚁群优化路径恢复算法

郑巍¹, 刘三阳², 寇晓丽²

(1. 西安电子科技大学计算机学院, 710071, 西安; 2. 西安电子科技大学数学科学系, 710071, 西安)

摘要: 为了找到动态传感器网络中的能量有效路径,提出了一种基于蚁群优化的传感器网络路径恢复算法. 设计了一种新的路径选择概率模型,使得能够找到一条从源节点到 sink 的能量有效路径,该路径兼顾了路径能量消耗和节点剩余能量情况. 为了适应网络动态变化,提出了局部信息素再初始化规则,利用该规则可在网络失效节点的附近进行局部信息素再初始化,在保留大部分原有最优路径的信息的同时,还能进行局部搜寻,以寻找新的路径,从而达到快速路径恢复的目的. 仿真实验表明,所提算法在寻找路径上所消耗的能量最少,节点的剩余能量最大,在网络存在失效节点的情况下能够快速恢复路径.

关键词: 传感器网络; 蚁群优化; 路径恢复; 局部信息素再初始化规则

中图分类号: TN393 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2010)01-0083-04

A Route Restoration Algorithm for Sensor Network via Ant Colony Optimization

ZHENG Wei¹, LIU Sanyang², KOU Xiaoli²

(1. School of Computer Science and Technology, Xidian University, Xi'an 710071, China;

2. Department of Mathematic Science, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: A route restoration algorithm based on the ant colony optimization (RRACO) is presented to find an energy-efficient route in dynamic sensor networks. A novel probabilistic model is constructed to find an energy-efficient route from the source node to the sink node. Both the overhead and the residual energy of nodes on routes are taken into account in the selection of the route. A new re-initialization rule for local pheromone is also presented to adapt the dynamic change of sensor networks. The rule reinitializes the local pheromone in the area where a nodes failure occurs. Most of the information for the original optimization route can be reserved and the local area can be searched. Hence the optimization route can be restored quickly. Simulation results show that the proposed method generates a route with the least overhead and the largest residual energy of the nodes, and that a new optimization route can be found very quickly when some nodes fail.

Keywords: sensor network; ant colony optimization; route restoration; local pheromone re-initialization rule

无线传感器网络(WSN)正逐步成为网络研究的热点^[1-2]. 由于传感器节点的能量十分有限,因此传感器网络路由协议的重要设计目标就是高效地利用传感器节点的能量,延长网络的生存时间. 因为传

感器网络常常部署在一些环境恶劣的区域,所以传感器节点的失效不可避免,如何在传感器节点失效的情况下快速有效地进行路径恢复,也是设计路由算法时必须要考虑的问题^[3]. 近年来发展迅速的各

种智能优化方法在传感器网络路由算法的设计中频频被采用,例如:文献[4-6]提出了几种基于遗传算法(GA)的传感器网络路由策略,并且得到了较好的路径,但是基于GA的算法需要知道全局的信息,当网络规模变大时将消耗大量的能量,同时GA的自适应能量较差,无法实时地解决传感器网络中发生节点失效的问题;文献[7]提出了一种基于蚁群优化的路由算法ARAWSN,该算法可以找到从源节点到sink的最短路径,使得路径上的能量消耗较小,但是没有考虑节点的剩余能量问题,这会使得剩余能量很少的节点也在最优路径上,从而导致这些节点过早死亡,减少了网络的生存时间;文献[8]从能量有效的角度出发,提出了3种基于能量有效的蚁群算法(BABR、IABR和EEABR),这些算法可以找到平均剩余能量大的最优路径,但是却过于追求平均剩余能量大,从而导致路径过长,使得信息在该路径上传输时所消耗的能量过多,并且在这些算法中,并没有给出解决网络中出现失效节点的策略。

本文在上述蚁群路由算法的基础上,提出一种基于蚁群优化的路径恢复算法(RRACO),并设计了一个新的蚂蚁移动的路径选择概率模型,该模型综合考虑了路径上节点能量消耗和节点剩余能量;提出了路径最优度的概念来评价路径的最优性,用来找到一条传输能量消耗少、节点平均剩余能量大并且最小剩余能量也大的最优路径.在网络中节点失效的情况下,网络拓扑发生了变化,为了能够快速恢复路径,本文还提出了一种新的局部信息素再初始化规则,保持其他节点的信息素不变,只在失效节点的附近进行局部信息素再初始化,在保留原有最优路径大部分信息的同时,也能够局部搜寻到新的路径,从而可以在原有最优路径的附近快速找到一条新的最优路径。

为了便于分析,本文采用文献[9]的无线通信模型来分析传感器节点之间的通信耗能。

1 基于蚁群优化的路径恢复算法

1.1 新的蚂蚁路径选择概率模型

新的蚂蚁路径选择概率模型均衡考虑节点的能量消耗和剩余能量因素.在RRACO算法中,蚂蚁 k 按照下面所定义的概率行为选择规则来决定下一步将移向哪一个节点.特别地,当前位于节点 i 的蚂蚁 k 选择节点 j 作为下一个访问节点的概率

$$p_{ij}^k = \lambda_1 \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in N_i^k} [\tau_{il}]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} + \lambda_2 \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [E_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in N_i^k} [\tau_{il}]^\alpha [E_{il}]^\beta} \quad (1)$$

式中: τ_{ij} 是节点 i 到节点 j 边上的信息素水平; η_{ij} 是代表传输能量消耗的启发式信息; E_{ij} 是代表节点剩余能量的启发式信息, $E_{ij} = 1/C - e_j$,其中 C 表示节点的初始能量, e_j 表示节点 j 的剩余能量; α 和 β 分别表示信息素水平和启发式信息的可调权重; N_i^k 代表位于节点 i 的蚂蚁 k 允许访问的邻居节点数; λ_1 和 λ_2 是偏向参数,它们反映对于传输能量消耗和节点剩余能量的偏向程度, $\lambda_1 > 0, \lambda_2 > 0, \lambda_1 + \lambda_2 = 1$.

定义满足下面3个要求的节点 j 将属于 N_i^k :

(1)节点 j 在节点 i 的有效通信半径之内;

(2)节点 j 还未被蚂蚁 k 访问;

(3)节点 j 比节点 i 距离源节点更远,并且 j 比 i 距离目的节点更近。

1.2 路径最优度

在RRACO算法中,提出了路径最优度(D_{RO})的概念来评价每轮蚂蚁走完1个回合所经过的路径是否是优的。 D_{RO} 的定义如下

$$D_{RO} = \frac{\lambda_1 E_{use}}{\lambda_2 (E_{avg} + E_{min})} \quad (2)$$

式中: E_{use} 是蚂蚁所走过的路径上传输1条信息时所有中间节点所需消耗的能量之和; E_{avg} 是路径上所有节点的平均剩余能量; E_{min} 是路径上所有节点之中最小的剩余能量。 D_{RO} 小意味着路径上节点所消耗的能量少,节点的平均剩余能量大,并且最小剩余能量也大,因此 D_{RO} 越小说明路径越优。

1.3 基于局部信息素再初始化规则的路径恢复策略

当网络中有节点失效的时候,在失效节点附近进行局部的信息素再初始化,以便在保留大部分原有最优路径信息的同时,又能够在局部找到新的路径,从而快速地在原有最优路径的附近找到一条新的最优路径.局部信息素再初始化规则如下。

若在最优路径上节点 s 因故失效,则 s 的所有邻居节点都会被赋予一个再初始化值,例如 s 的邻居节点 p 会得到一个再初始化值, p 则根据再初始化值再次初始化 p 与 p 的邻居节点之间的信息素

$$\tau_{ps} = (1 - r_p) \tau_{ps} + r_p \tau_0 \{t \in N_p\} \quad (3)$$

与节点 s 有越大启发值的节点(即离 s 越近的节点)将获得越大的再初始化值,以此增加与该节点相邻的节点被选择的概率,所以 r_p 的取值为

$$r_p = 1 - \eta_{avg} / \lambda_0 \eta_{sp} \quad (4)$$

式中: $\eta_{avg} = \frac{1}{M} \sum_i \eta_{si}$; M 为节点 s 的邻居节点数; λ_0 为归一化参数,使得式(4)右边的分数值总是小于1。

图 1 所示为网络中最优路径的其中一段,在这段路径上,节点 s 因故失效, $\{m,n,p,k\}$ 为其邻居节点,则 $\{m,n,p,k\}$ 按照式(4)被赋予一个局部信息素再初始化值,通过这个信息素再初始化值, $\{m,n,p,k\}$ 的邻居节点根据式(3)再初始化信息素,也就是说,在图 1 中,从节点 b 到节点 e 之间所有节点间的信息素将会被再初始化(假设 $\{m,n,p,k\}$ 的邻居节点包括了图中的所有节点). 当这些节点间的信息素按照以上规则再初始化后,经过算法的运行,得到的新路径如图 2 所示. 也就是说,如果在最优路径上只有节点 s 失效,那么整个最优路径的其他部分不会发生变化,而只有这一段由图 1 的路径变成了图 2 的路径,从而既可保留大部分原有路径的信息,又能在局部找到新的路径.

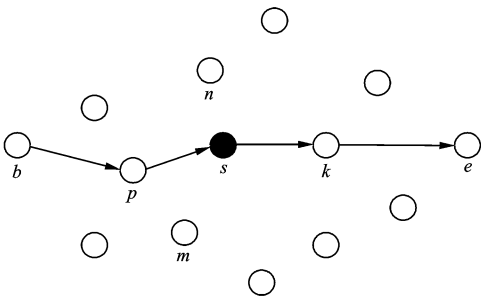


图 1 网络中最优路径的一段

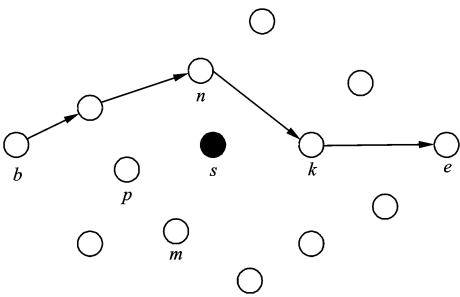


图 2 信息素再初始化后的新路径

2 仿真实验

实验目的是将本文提出的 RRACO 算法与 ARAWSN 算法^[7]和 BABR 算法^[8]进行比较. 图 3 和图 4 所对应的仿真环境为:在 $100\text{ m}\times 100\text{ m}$ 的正方形区域内均匀布置 121 个传感器节点, sink 节点位于 $(0,0)$. 图 5 和图 6 所对应的仿真环境为:在 $200\text{ m}\times 200\text{ m}$ 的区域内随机布置 400 个传感器节点, sink 节点位于矩形区域的左下角, 8 个源节点位于区域的右上角. 每个节点的初始能量为 1 J , 剩余能量为 $(0\text{ J}, 1\text{ J})$ 之间的随机数. 节点能量消耗模型与文献^[9]中的相同, 本实验中的一些参数取值如

下: $\alpha=1, \beta=2, \lambda_1=0.6, \lambda_2=0.4, \lambda_0=10$. 若 λ_1 的值过大, 所得到的路径将倾向于最短路径; 若 λ_2 的值过大, 所得到的路径将倾向于节点剩余能量大的路径.

图 3 显示当源节点到 sink 节点的距离分别为 $30\times 2^{1/2}$ 、 $40\times 2^{1/2}$ 直到 $100\times 2^{1/2}\text{ m}$ 时, 3 种算法所得到的最优路径上的节点平均剩余能量. 从图中可以看出, BABR 和 RRACO 算法都有较高的节点平均剩余能量, 而 ARAWSN 算法所得到的节点平均剩余能量较低, 这是因为 ARAWSN 算法所求得的是最短路径, 没有考虑剩余能量的问题.

图 4 为 3 种算法在所得到的最优路径上传输一条 2 kb 的信息时, 整条路径上所有节点消耗的能量之和. 从图中可以看出, BABR 算法消耗的能量最多, 因为它的最优路径主要是考虑节点的剩余能量, 而 RRACO 算法消耗的能量最少. RRACO 算法比 ARAWSN 算法消耗的能量少的原因在于, ARAWSN 找的是最短路径, 而在 WSN 中, 由文献^[9]的通信模型可知最短路径并不一定是传输能量消耗最少的路径, 因此, 考虑了 WSN 本身特点的 RRACO 算法可以得到传输能量消耗最少的路径.

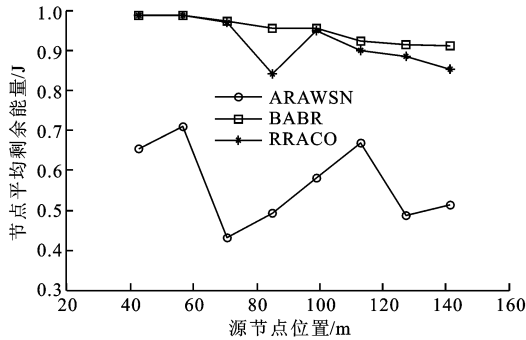


图 3 节点平均剩余能量比较

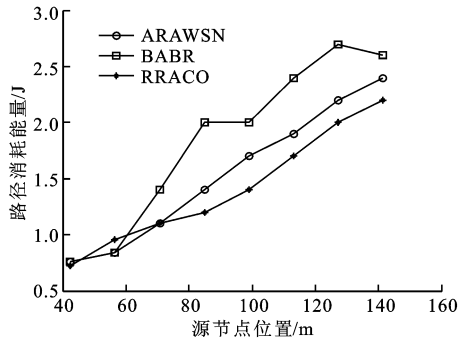


图 4 路径传输消耗能量比较

图 5 为根据 RRACO 算法得到的一条从源节点到 sink 节点的最优路径, 图 6 则验证了在网络中出

现失效节点时局部信息素再初始化规则的有效性. 图6的网络拓扑基于图5, 在2个星号表示的节点失效的情况下, 通过局部信息素再初始化规则在局部对信息素进行调整, 可以迅速找到新的最优路径. 对比图5和图6可以看出, 除了在2个失效节点附近之外, 其他部分的路径并没有变化, 这是因为局部信息素再初始化规则只是在失效节点附近对相关节点进行局部信息素再初始化, 使得在这些地方可以搜寻到新的路径, 而在其他节点处的路径不变, 从而能在原有最优路径的附近快速找到一条新的最优路径, 达到快速进行路径恢复的目的.

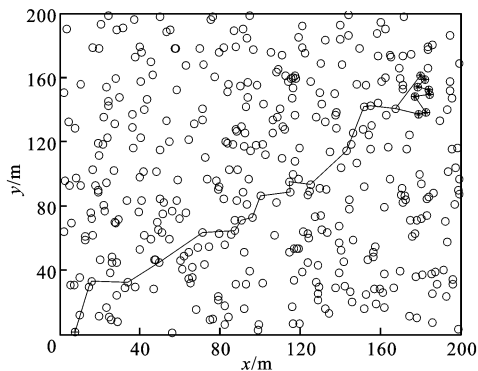


图5 根据 RRACO 算法得到的最优路径

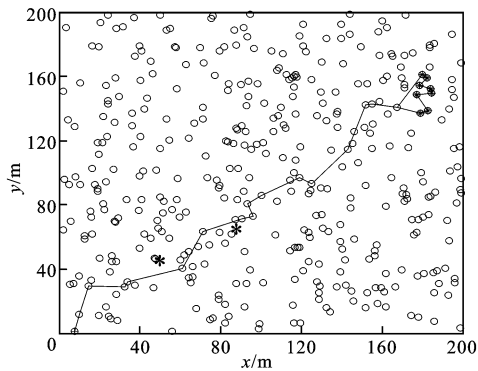


图6 局部信息素再初始化后得到的最优路径

3 结 论

本文根据传感器网络本身的特点, 提出了一种基于蚁群优化的传感器网络路径恢复算法. 在该算法中, 提出了一个兼顾节点能量消耗和节点剩余能量的路径选择概率模型, 能找到一条从源节点到 sink 节点的能量有效路径, 并提出了路径最优度的

概念来评价路径的优化性能; 为了达到在网络中出现失效节点的情况下快速恢复路径的目的, 还提出了局部信息素再初始化规则, 只在失效节点的附件进行信息素再初始化, 在保留了大部分原有最优路径的信息的同时, 也能在局部搜寻到新的路径, 从而能够快速进行路径恢复.

参考文献:

- [1] ESTRIN D, GIROD L, POTTIE G, et al. Instrumenting the world with wireless sensor networks [C] // Proceedings of International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing: ICASSP 2001, Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2001: 2033-2036.
- [2] AKYILDIZ I F, SU W, SANKARASUBRAMANIAM Y, et al. Wireless sensor network: a survey [J]. Computer Networks, 2002, 38(4): 393-422.
- [3] AKKAYA K, YOUNIS M. A survey on routing protocols for wireless sensor network [J]. Ad Hoc Networks, 2005, 3(3): 325-349.
- [4] WU Q, RAO N S V, Barhen J, et al. On computing mobile agent routes for data fusion in distributed sensor networks [J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2004, 16(6): 740-753.
- [5] WANG Shu, YAN Yu-jie. The mobile agent-based data fusion in sensor network [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2006, 19(3): 926-932.
- [6] LI Zhi-yu, SHI Hao-shan. A data aggregation algorithm based on grid and mobile agent in WSN [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2008, 21(7): 1232-1236.
- [7] LIANG Hua-wei, CHEN Wan-ming. ACO-based routing for wireless sensor network [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2007, 20(11): 2450-2455.
- [8] TIAGO C, CARLOS C, JORGE S S, et al. An energy-efficient ant-based routing algorithm for wireless sensor networks [M]. DORIGO M, GAMBARDELLA L M, BIRATTARI M, et al. LNCS, vol. 4150. Berlin, Germany: Springer, 2006: 49-59.
- [9] HEINZELMAN W R. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks [J]. IEEE Trans on Wireless Communication, 2002, 1(4): 660-670.

(编辑 葛赵青 苗凌)