

基于 DIJKSTRA 的无线传感器网络 分簇路由算法

何翼^{1,2}, 曾诚^{1,3}, 李洪兵^{3,4}, 陈前³

(1. 贵阳学院 数信学院, 贵阳 550005; 2. 重庆大学 软件学院, 重庆 400044;
3. 重庆大学 自动化学院, 重庆 400044; 4. 重庆三峡学院 计算机科学与工程学院, 重庆 404000)

摘要: 为加快无线传感器网络最优路径搜索速度、减少路径寻优能量消耗和延长网络寿命, 提出了基于改进的 DIJKSTRA 算法的无线传感器网络分簇路由算法; 运用 DIJKSTRA 算法在无线传感器网络内以多跳接力的方式来搜寻从源节点到目的节点的最短路径; 结合能耗优化策略, 避免网络能耗热点问题, 实现网络能耗均衡; 通过与基于蚁群算法的路由算法对比分析, 基于 Dijkstra 的网络分簇路由算法能优化网络分簇并建立较优传输路径, 其快速收敛性能减缓了网络中簇头节点的能耗, 延长了网络寿命, 提高了网络鲁棒性。

关键词: 无线传感器网络; 分簇路由; Dijkstra 算法

Clustering Routing Algorithm Based on DIJKSTRA for Wireless Sensor Networks

He Yi^{1,2}, Zeng Cheng^{1,3}, Li Hongbing^{3,4}, Chen Qian³

(1. College of Mathematics and Information Science, Guiyang University, Guiyang 550005, China; 2. School of Software Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 3. College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 4. College of Computer Science & Engineering, Chongqing Three Gorges University, Chongqing 404000, China)

Abstract: In order to speed up the path searching and cut the energy consumption, a new DIJKSTRA based on clustering routing algorithm for improving wireless sensor networks is presented in this manuscript. This algorithm adopts DIJKSTRA-based method to find the optimal multi-hop path from the source node to sink node among the clustering heads while the clustering routing models are established for energy management in wireless sensor networks. It avoids energy for some nodes near the sink node and balances the energy consumption in the network with the clustering routing models. By comparing with the ACA routing algorithm in experiment, this algorithm alleviates the energy consumption of the nodes and extends the service life of wireless sensor networks. It has less dead nodes during the same time and has good robustness.

Keywords: wireless sensor networks; clustering routing; Dijkstra algorithm

0 引言

无线传感器网络 (Wireless Sensor Network, WSN) 是由部署在监测区域内的大量廉价微型传感器节点所组成, 这些节点具有信息感知、信息处理和无线通信能力, 具备广阔的应用前景, 是广大研究者重点关注的研究方向^[1-4]。

WSN 的路由协议分析与设计是无线传感器自组织网络中的一个核心环节, 路由协议的任务是在传感器节点和 Sink 节点之间建立路由, 可靠地传递和转发数据包。由于传感器网络节点的能量、计算和存储资源受限, 其路由协议须遵循简化计

算, 减小状态信息存储和路由协议优化等原则。结合能量消耗均衡机制, 以提高无线传感器网络的生存周期和鲁棒性^[5-7]。

针对蚁群算法^[8]在大规模网络中存在搜索速度和效率相对偏低的问题, 本文提出运用改进的 Dijkstra 算法建立无线传感器网络分簇路由。通过研究改进的 Dijkstra 算法能较好地解决网络节点较多时的路径寻优问题。它具有灵活性强和适应性高等特点。相比蚁群算法, 能更适合于节点数较多网络场景。通过仿真验证, 本算法能降低距离 Sink 节点的最短路径的跳数, 减少路径的计算复杂度, 优化快速建立普通节点到距离 Sink 节点的最短路径。在无线传感器网络分簇路由寻优、加快收敛速度和降低能耗等方面具有较好的效果。

1 能耗均衡的网络分簇算法

1.1 分簇算法基本思想

为了建立 WSN 簇的模型, 假设网络中所有节点通过一个全双工工作方式相连, 采用分簇层次型拓扑结构, 簇头主要负责网络子簇内的各种数据融合, 同时与簇内其他节点互相协调工作, 因此考虑在簇头间使用改进的 Dijkstra 算法以多跳接力方式来建立簇头节点到目的节点的最优路径, 并且将簇头的融合数据发送到 Sink 节点。通过评估各节点能耗度, 并根据相

收稿日期:2014-04-30; 修回日期:2014-06-01。

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目(2013CB328903); 国家自然科学基金资助项目(60574003); 高等学校博士学科点专项科研基金(20100191110037); 贵州省科学技术基金资助项目(黔科合 J 字 LKG【2013】46 号); 重庆市科委科技攻关项目(cstc2012gg-yyjs40008); 重庆市教委科技项目(KJ131117); 重庆万州区科技计划项目(201203037); 重庆三峡学院重点项目(12ZD15); 青年项目(12QN14)。

作者简介: 何翼(1981-), 女, 重庆人, 讲师, 硕士, 主要从事有向无线传感器网络方向的研究。

关规则来判定是否能够改变簇头节点的传输功率或子簇簇头的轮换选取,以优化次轮的数据采集传输、网络动态分簇以及多跳最优路径,从而实现 WSN 内节点能量的均衡管理^[9-10]。

1.2 能量消耗的网络动态分簇步骤

第一步:将各类参数初始化。首先初始化全部节点能量,判定网络内的全部节点数量、分簇概率、传输距离和循环迭代次数,并且这个次数要尽量取到最大值。

第二步:建立 WSN 的能耗模型。WSN 内的节点耗能由三部分组成:发送耗能 E_{tx} ,接收耗能 E_{rx} ,数据融合的耗能 E_{gx} , E_{elec} 为每一 bit 接收以及发送电路的耗能, E_{amp} 为传输放大器的比例系数。每一节点向距离 d 发送 $kbit$ 数据时,数据融合消耗能量为:

$$E_{gx}(k) = E_{gx} \cdot k \quad (1)$$

发送消耗能量 ($2 \leq n \leq 4$):

$$E_{tx}(k, d) = E_{elec} \cdot k + E_{amp} \cdot k \cdot d^n \quad (2)$$

接收消耗能量:

$$E_{rx}(k) = E_{elec} \cdot k \quad (3)$$

在循环中选为高级节点的无线发射模块可以根据节点的能耗状况和发送距离的远近来控制发送功率的大小,而普通节点在未工作时则可以采取休眠方式以达到节省能量的目的。一般情况下,发送数据的能耗度取决于数据大小和传输距离,而接收数据的能耗则只取决于数据大小^[11-12]。

第三步:根据概率值选取网络中的节点为高级节点和普通节点,高级节点作为网络的簇头节点,并设定概率 $p = [0.1 \sim 0.2]$ 。Sink 节点可以发送 Internet 数据包,且可以接收其余节点的各种指定数据。

第四步:根据网络内普通节点和相邻的簇头节点距离信息、相关位置和子簇节点数,可以确定普通节点的子簇归属。通过反复地将簇头节点和普通节点进行数据融合和交换,从而使得形成子簇。

定义 1:任意两普通节点 (i, j) 间的欧氏度量如下。

$$D(i, j) = \sqrt{(S(i).x_d - S(j).x_d)^2 + (S(i).y_d - S(j).y_d)^2} \quad (4)$$

普通节点与簇头节点 (i, c) 两点的欧氏度量:

$$D(i, c) = \sqrt{(S(i).x_d - C(c).x_d)^2 + (S(i).y_d - C(c).y_d)^2} \quad (5)$$

其中: $S(i).x_d$ 和 $S(i).y_d$ 分别表示普通节点 i 的坐标, $C(c).x_d$ 和 $C(c).y_d$ 表示簇头节点的坐标。

定义 2:如果 $D(i, c_j) = \min \{ D(i, c_j) \} (j = 1, \dots, n)$, 则节点 i 一定可归于 c_j 子簇,在此基础上,可设定共建立有 n 个簇头。

第五步:通过 Sink 节点广播消息,簇头对子簇内的各节点数据进行融合,并由 Dijkstra 节点算法探寻和优化多跳路径,然后进一步地将簇头的融合数据发送到 Sink 节点。此外,簇头节点还可以控制簇内各成员节点的工作状态和休息状态。

第六步:通过计算子簇内全部节点的剩余能量值,确定节点能量消耗的总值或者死亡节点数。在此基础上,可以将簇头节点的传输功率进行修正或调整,然后在网络子簇内通过剩余能量的高低来重新排列各节点,以便选取新一轮的簇头节点。

根据 Sink 节点的选取规则,可将上述的第二到六步进行多次循环,使得能够在网络中得到各节点的最大迭代数或者死

亡节点数量,并且使得到的数值与最初的设定值保持无限趋近。

2 Dijkstra 节点算法的无线传感器网络路由算法

2.1 Dijkstra 算法的基本思想

Dijkstra 算法的基本思想是基于分簇拓扑结构,首先管理簇内的所有成员节点,并协调簇内各成员节点按照一定的次序进行数据传输。其次还要将收集到的成员节点的数据进行融合,最后将融合后的数据发送给 Sink 节点。由于簇头节点的负载较重,故考虑采用周期性的簇头轮换方法。路由算法就是要找到一条从源节点到目的节点能量损耗最小的最优路径,使得各节点在接收和传送数据时所需能耗最少,且满足系统时间延迟要求。通过 Dijkstra 节点算法的最优路径路由算法将无线传感器网络拓扑等价于有向的连通图,再以链路损耗、传输功耗和时间延迟等为权值参数,在目的节点和始发节点间建立最短的数据路径,且能满足网络应用中的传输时间延迟要求。

2.2 Dijkstra 算法基本步骤描述

在最优路径的若干算法中,贪婪算法和蚁群算法经常被研究者用来寻找并优化路径。但是贪婪算法和蚁群算法容易陷入局部最优解,从而导致遍历的路径网络节点能量急剧减少,使整个网络的生命周期缩短,甚至该路径出现拥塞和停滞。采用改进的基于 Dijkstra 算法是在簇头节点间进行最优路径选取,主要体现在对贪婪算法和蚁群算法的局限性进行了改进。Dijkstra 算法采用的遍历整个网络的原理来寻找路径,每个节点用从源节点沿已知最佳路径到本节点的距离来标注。开始所有节点都标注为无穷大,随着算法的不断进行,从而找出新的路径,标注也随之改变,使之反映出较好的路径。开始所有标注都是暂时性的,当发现标注代表了从源节点直到该节点的最短可能路径时,就使它成为永久性的。当一些路径上节点死亡时,可通过 Dijkstra 算法建立新的从感知节点到汇聚节点的最优路径,其具体步骤如下。

第一步:初始化参数,标记其起源点为 $S = \{v\}, D(v) = 0$,其它所有簇头节点为未标记的,记为 U ,它包含除 v 外的其他顶点;

第二步:从 U 中选取一个距离 v 最小的顶点 k ,把 k 加入到 S 中(该选定的距离 $D(k)$ 就是 v 到 k 的最短路径长度),然后以 k 为新考虑的中间点,修改 U 中各顶点的距离,若从源点 v 到顶点 $u \in U$ 的距离 $D(ku)$ (经过顶点 k) 比原来距离 $D(u)$ (不经过顶点 k) 短,则修改顶点 u 的距离值 ($D(u) \rightarrow D(ku)$),否则保留 $D(u)$;

第三步:在判定过程中不断标记最短边的下一节点,生成一条路径,如果该簇头节点为 Sink 节点,则返回第一步,否则返回第二步;

第四步:当簇头将数据传输到 Sink 节点时,将沿做该路径进行数据传输,直到某个簇头节点能量小于发送距离 D_0 的 $kbit$ 数据所消耗的能量时,进入下一轮的循环,重新选择簇头。

反复循环执行第二步到第四步,直到循环次数达到设定值或连续若干次循环内没有最优路径出现为止。从改进的 Dijkstra 算法可以看出:通过使用该算法不仅可以减少簇头节点为了建立距离 Sink 节点最短路径的寻路次数,同时减少寻优计算量,使簇头节点以最快的速度找到距离 Sink 节点的最优

路径。

3 实验结果及仿真分析

3.1 初始化实验参数, 生成网络节点。

设传感器节点区域大小为 [100, 100], Sink 节点坐标为 (100, 100), 随机生成的网络节点数为 200 个。首先将 WSN 的各节点能量、传送数据类型及各数据的能耗值进行初始化, 在这一过程中, 假设网络的最大迭代次数是 $n=200$ 。图 1 是在 WSN 中随机生成的节点数, 其中“o”代表普通节点, 而“+”代表高级节点, 一般情况下都可以把高级节点首选为簇头节点。在仿真图 1~5 中, 横纵坐标仅表示区域 $x(y)$ 方向距离。

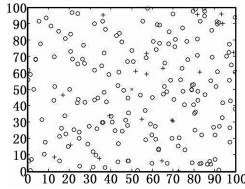


图 1 随机生成的传感器网络节点

3.2 动态网络分簇和簇头的分布

图 2 与图 3 是进行了两次分簇而形成的拓扑结构。无线传感器网络内的簇头节点按概率 $p=0.1$ 在全部的节点中随机选取, 因为按这种动态分簇的选取方式能够以最大的概率在相邻的子簇内选取不同的簇头节点。

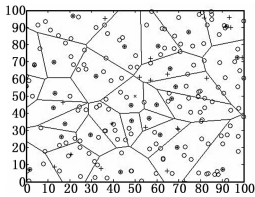


图 2 无线传感器网络首次分簇

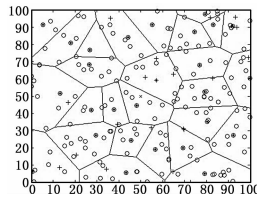


图 3 无线传感器网络次轮分簇

在仿真实验中, 首先考虑在网络中提取相邻的 6 次分簇, 并且保证同一节点被连续取为簇头节点的概率值低于 5%。另外这种筛选方法还能够使得当相邻的分簇中有相同的簇头节点时, 子簇内的其他节点也可以在多次的循环中通过剩余能量的高低重新排列, 并选取新一轮的簇头节点。因此这种选取方式在相邻的分簇中可以最大程度地避免出现相同的簇头节点或选取到同一簇头节点的概率非常低, 通过上面的动态分簇选取方法可以实现 WSN 内的能量均衡化。

3.3 Dijkstra 算法和蚁群算法的簇头节点路径与收敛速度

Dijkstra 算法以整个传感器网络为基础, 可从多个不同角度思考怎样平衡网络内各节点的能耗问题。该算法是一个典型的动态分布式算法, 簇和子簇都建立在大小不等分簇的理论基础之上, 再融入节点能量因素。在网络簇间的多跳路由之中, 用修正的 Dijkstra 算法寻找各簇头节点到 Sink 节点的最优路径, 这相当于给网络中所有簇头节点创建了到 Sink 节点的能耗代价最小的路径。

图 4 和图 5 是分别建立在 Dijkstra 算法和蚁群算法基础上从而形成的传送道路。在仿真实验中, 假定相关参数保持恒定, 当使用 Dijkstra 算法时, 循环次数 $n \geq 16$ 时的传送道路与使用蚁群算法在循环次数 $n \geq 21$ 时所使用的路径长度大致相

同。也就是说, 当这两种算法在自己的最优路径时, Dijkstra 算法只需循环 16 次, 而蚁群算法则需循环 21 次。所以当这两种算法到达相等的最佳路径时, Dijkstra 算法的循环次数小于蚁群的循环次数, 因此具有更快的收敛速度。当相应的概率值增大时, 可以导致簇头数量逐渐增多, 从而使得 Dijkstra 算法的优势更为显著, 但是这样也会增加网络分簇和簇头选择计算的复杂性, 同时也会导致更多的能量被消耗。

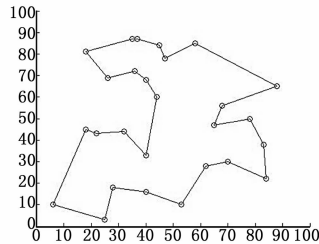


图 4 Dijkstra 算法的簇头节点路径

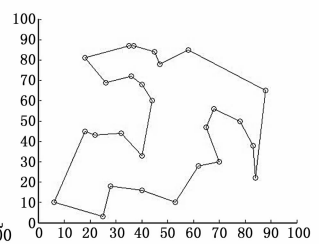


图 5 蚁群算法的簇头节点路径

3.4 基于 Dijkstra 算法和蚁群算法的无线传感器网络节点死亡对比分析

图 6 为基于 Dijkstra 算法和蚁群算法的网络节点死亡对比。由图 6 可知: 使用 Dijkstra 算法的动态分簇模式的能耗性能更为优秀。在循环次数 [0, 900] 之间, Dijkstra 算法的网络能耗性能比蚁群算法的效果差, 这是因为在网络节点和 Sink 节点之间存在大量的信息传输而导致能耗性能相对较多; 在循环次数 [900, 2 200] 之间, Dijkstra 算法有相对较好的优势; 而在循环次数 [2 200, 2 500] 之间, 两者的死亡节点数基本上差不多, 是因为在整个网络中剩余节点数比较少, 两种路由算法效率基本相当。蚁群算法在选择路径时具有很强的随机性, 可能导致出现网络内的部分簇头相距较近或部分区域的普通节点离簇头较远的情况, 从而可大幅地增加节点的传输能耗, 因此达不到有效延长网络生存时间的目的。而改进的 Dijkstra 算法可以看作近似基于区域划分, 能够平衡簇头需要负担的节点数, 不会加重簇头节点的负担, 使得网络的负载能量程度达到平衡。因此基于 Dijkstra 路由算法的无线传感器网络具有更长寿命和较好的鲁棒性。

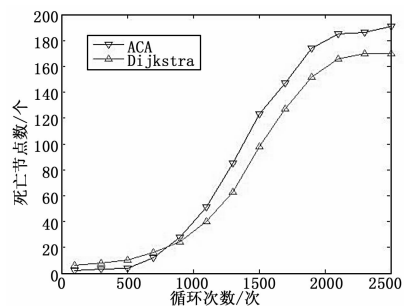


图 6 基于 Dijkstra 算法和蚁群算法的网络节点死亡对比

4 结论

本文通过使用改进的 Dijkstra 算法, 使得 WSN 动态分簇算法具备能量均衡管理模式, 并可以在簇头节点间探寻从簇头节点到目的节点的最优路径, 进一步将簇头融合数据传输到

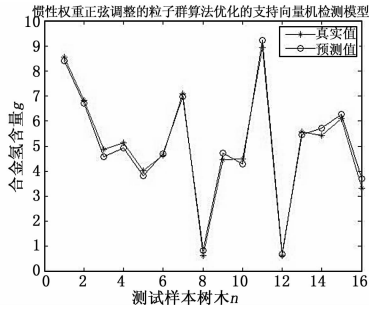


图 2 改进粒子群优化参数的 SVR 检测模型数据仿真

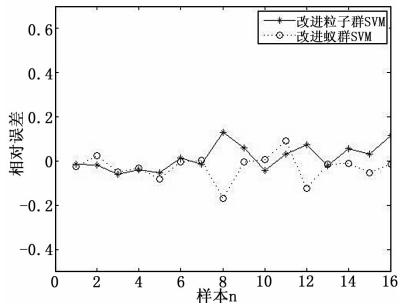


图 3 改进群体算法优化后预测模型的相对误差

4 结束语

文中提出的基于改进蚁群算法及改进粒子群算法优化 SVR 回归模型参数的方法, 可避免 SVR 回归模型参数选择时对经验的依赖性, 与原有智能算法相比, 改进蚁群算法及粒子群算法优化的 SVR 模型具备如下特点:

- (1) 改进群体收敛速度快, 迭代次数少, 在提高搜索速度的同时, 具备较强的局部搜索能力;
- (2) 局部搜索的同时, 可根据实际情况进行自适应调整控制, 可有效避免搜索偏向, 即二级欺骗等现象;
- (3) 具备大视域全局搜索和小步长局部搜索相互协作优化的能力, 可有效避免族群局部聚集的情况, 最终得到的则是全局最优解。

仿真结果表明, 采用改进粒子群算法优化 SVR 回归模型的参数, 参数寻优能力优于改进蚁群算法, 具有实际应用价值。

参考文献:

- [1] 王艳玲, 李龙澎, 胡哲. 群体智能优化算法 [J]. 计算机技术与发展, 2008, 18 (8): 114-117.
- [2] Dorigo M, Gambardella L M. Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem [J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computations, 1997, 1 (1): 53-66.
- [3] Kennedy J, Eberhart R C. Particle swarm optimization [A]. Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks [C]. NJ: [s. n.], 1995: 1942-1948.
- [4] 付云朋, 王宏力, 侯青剑. 基于改进蚁群算法的故障树最优检测次序的研究 [J]. 战术导弹技术, 2009, 11. (6): 23-25.
- [5] 熊伟丽, 徐保国. 粒子群算法在支持向量机参数选择优化中的应用研究 [A]. 2007 中国控制与决策学术年会论文集 [C]. 2007: 447-452.
- [6] 罗阳. 展望 21 世纪的中国稀土磁体产业 [A]. 第九届中国稀土企业家联谊会会议论文集 [C]. 2002: 111-132.
- [7] 侯忠生, 许建新. 数据驱动控制理论及方法的回顾和展望 [J]. 自动化学报, 2009, 35 (6): 650-667.

(上接第 2869 页)

Sink 节点。Dijkstra 算法可改进蚁群算法中的缺陷, 可增强搜索过程的探寻, 加快最优道路的搜索速度, 减少路径寻优能耗, 使得路径的搜索离最优解保持在有限小的范围内。在仿真实验中, 通过与蚁群算法的死亡节点分布情况和死亡节点数目相对比可知: 在相同的已知条件下, 本文提出的改进 Dijkstra 算法能够在节点死亡速度上保持良好性能。综合动态分簇能量均衡管理模式, 可以克服在搜寻过程中由于过度使用某些节点而导致的网络能耗热点问题, 进而达到网络节点能耗均衡, 优化网络节点的最优路径并增强网络节点寿命, 提高网络鲁棒性。

参考文献:

- [1] Helio Mendes Salmon, Claudio M. de Farias, Paula Loureiro, Luci Pirmez. Intrusion Detection System for Wireless Sensor Networks Using Danger Theory Immune-Inspired Techniques [J]. International Journal of Systems Science, 2012: 1-28.
- [2] Li Q, Zhang B H, Cui L G, et al. Immunizations on small worlds of tree-based wireless sensor networks [J]. Chinese Phys. B, 2012, 21 (5): 1-9.
- [3] 王翥, 王祁. 多约束容错性 WSN 中继节点布局算法的研究 [J]. 电子学报, 2011, 39 (3): 115-120.
- [4] 陈丹, 郑增威, 李际军. 无线传感器网络研究综述 [J]. 计算机

- 测量与控制, 2004, 12 (8): 701-704.
- [5] Oh Hoon, Han Trung-Dinh. A demand-based slot assignment algorithm for energy-aware reliable data transmission in wireless sensor networks [J]. Wireless Networks, 2012, 18 (5): 523-534.
- [6] 肖伟, 徐明, 吕品, 等. 无线传感器网络事件簇的数据聚集容错机制 [J]. 通信学报, 2010, 31 (6): 112-118.
- [7] 李洪兵. 基于蚁群算法的无线传感器网络路由算法研究 [D]. 重庆: 重庆理工大学, 2011.
- [8] 李士勇. 蚁群优化算法及其应用研究进展 [J]. 计算机测量与控制, 2003, 11 (12): 911-917.
- [9] Lu X J, Ding Y S, Hao K R. Immune clonal selection algorithm for target coverage of wireless sensor networks [J]. Int. J. Modelling, Identification and Control, 2011, 12 (1): 119-124.
- [10] Heinzelman W B, Chandrakasan A P, Balakrishnan H. An Application-specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2002, 1 (4): 660-670.
- [11] 冯跃喜, 金心宇, 蔡文郁. 基于改进型蚁群算法的无线传感路由协议 [J]. 传感技术学报, 2007, 20 (11): 2461-2464.
- [12] Lindsey S, Raghavendra C, Sivalingam K. Data Gathering Algorithms in Sensor Networks Using Energy Metrics [J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2002, 13 (9): 924-935.