基于蚁群算法的一种能量高效路由算法的研究*

杨 靖[1,2]，张新荣[1]，徐保国[1]
(1. 江南大学 通信与控制工程学院，江苏 无锡 214122；2. 贵州大学 电气工程学院，贵阳 550003)

摘 要：为了达到在信息传输路径上节能的目的，提出了一种基于蚁群算法的节能路由算法。该算法根据节点当前可用能量选择下一跳节点，按照节点经过的人工蚂蚁数选择数据汇聚节点，最终达到能量均衡使用和降低通信量的目的。经仿真计算证明该算法能合理地选择路由，节能效果明显，进一步延长了网络生存期。

关键词：无线传感器网络；能量；蚁群算法；路由
中图分类号：TP393 **文献标志码**：A **文章编号**：1001-3695(2009)02-0513-02

Research on energy-efficient routing algorithm based on ant colony algorithm

YANG Jing[1,2], ZHANG Xin-rong[1], XU Bao-guo[1]
(1. School of Communication & Control Engineering, Jiangnan University, Wuxi Jiangsu 214122, China; 2. School of Electric Engineering, Guizhou University, Guiyang 550003, China)

Abstract: In order to reduce power consumption, this paper proposed an energy-efficient routing algorithm, which based on ant colony algorithm(ACA). The algorithm balanced the energy of network by choosing next hop node according to actual energy of nodes, and decreased traffic by using data aggregation node. The simulation results show that the algorithm can choose rational routing, and can prolong network lifetime.

Key words: wireless sensor networks(WSNs); energy; ant colony algorithm(ACA); routing

0 引言

无线传感器网络由很多小型的、携带电池能量有限的传感器节点构成，节点间通过无线多跳方式进行信息的传送，它在军事、医疗健康、环境监控等方面得到了应用[1,2]。在无线传感器网络中，传感器节点通常工作在条件恶劣的环境中，能源不可替代，所以必须采取各种措施降低节点能耗，提高网络生存期[3,4]。本文从降低节点通信能量消耗的角度出发设计节能路由算法，借此达到提高网络生存期的目的。

无线传感器网络中的路由协议通常可以分为基于地址的路由协议(address-centric, AC)和基于数据的路由协议(data-centric, DC)两种。文献[5]中比较了基于 AC 的路由算法和基于 DC 的路由算法的性能，仿真结果表明基于 DC 的路由算法具有更好的性能。蚁群算法[6]最早由意大利学者 M. Dorigo 等人提出，具有自组织、分布式计算、正反馈的特点。文献[7]介绍了蚁群算法在 Ad hoc 网中的应用。本文基于蚁群算法和 DC 路由算法的思想提出了一种能量高效汇聚路由算法(energy-efficient convergence routing algorithm based on ant colony algorithm, EECRA)，该算法具有可扩展性的特点，网络生存期比典型算法更长。

算法基本思想：

a) 人工蚂蚁根据节点剩余能量选择下一跳节点，可保证网络中节点的能量能被均衡使用。

b) 人工蚂蚁使用网络的局部信息，通过并行搜索建立到 sink 节点的最优路径。

c) 根据人工蚂蚁经过某个节点的数目选择数据融合节点，使路径趋向汇合。通过在数据融合节点进行数据融合，达到降低通信量的目的。

d) 算法中按小概率引入随机搜索策略，防止算法过早收敛。

1 能量高效蚁群路由算法

1.1 网络能耗模型

无线传感器网络中网络生存期的长短与第一个失效节点的出现时间有关，而节点失效通常是由于节点能量耗尽而造成的。从文献[8]可知，节点用于无线通信的能耗远大于计算能耗，因此本文研究重点是通过设计合理的路由算法，达到降低节点能量消耗的目的。

节点间通信时采用文献[3]中的模型计算通信能耗。当传感器节点发射 k bit 信息，传输距离为 d 时，发射机消耗的能量为

$$E_T(k,d) = E_{Tx} \times k + E_{amp} \times k \times d^2 \tag{1}$$

传感器节点接收 k bit 信息时接收机消耗的能量为

$$E_R(k) = E_{Rx} \times k \tag{2}$$

式中参数设置如表 1 所示。

表 1 无线通信模型能量损耗参数

参数项	参数值
E_{Tx}	50 nJ/bit
E_{Rx}	50 nJ/bit
E_{amp}	100 pJ/bit · m^{-2}

收稿日期：2008-04-09；修回日期：2008-06-29 基金项目：国家“863”计划资助项目(2006AA10Z335, 2006AA10A301)

作者简介：杨靖(1973-)，男，四川人，博士研究生，主要研究方向为无线传感器网络、智能算法(yj.china@126.com)；张新荣(1973-)，男，陕西人，讲师，硕士，主要研究方向为无线传感器网络；徐保国(1950-)，男，江苏人，教授，博导，主要研究方向为现场总线、无线传感器网络、过程控制自动化等.

1.2 算法模型

本文算法采用的是蚁圈模型,并对之进行了改进。算法中构造了两种类型的人工蚂蚁,即寻路蚂蚁和返回蚂蚁,两种蚂蚁分别执行不同的信息素更新公式。寻路蚂蚁完成选择下一跳节点的功能;返回蚂蚁完成建立最终路由的功能。

搜索概率公式:

$$P_{ij}(t)=\begin{cases}(\tau_{ij}^{\alpha}(t)\times\eta_{ij}^{\beta})/(\sum_{k\in \mathrm{tabu}_k}\tau_{ik}^{\alpha}(t)\times\eta_{ik}^{\alpha}), & j\in \mathrm{tabu}_k\\ 0, \text{otherwise} & \\ \text{s.t. } d_{ix}>d_{jx} & \end{cases} \tag{3}$$

启发因子:

$$\eta_{ij}=\begin{cases}C\times E_j/d_{ij};\ j\text{ 为下一跳节点}\\ 0;\ \text{otherwise}\end{cases}$$

信息素调整公式:

$$\tau_{ij}(t,t+1)=(1-\rho)\times\tau_{ij}(t)+\Delta\tau_{ij}^{k}(t,t+1) \tag{4}$$

寻路蚂蚁信息素增量公式:

$$\Delta\tau_k(i,j)=C_1\times E_j/d_{ij} \tag{5}$$

返回蚂蚁信息素增量公式:

$$\Delta\tau_k(i,j)=C_2\times E_j/(\bar{E}\times J_{NK}) \tag{6}$$

式(3)中 P_{ij}是下一跳搜索概率;式(4)中 $0\le\rho<1$ 是信息素消逝速率;式(5)中,E_j 是节点 j 的当前能量;式(6)中 $\bar{E}$ 为寻路蚂蚁搜索到的路径上的平均能量,J_{NK}是寻找到的路由总跳数;节点物理距离 $d_{ij}=\sqrt{(x_i-x_j)^2+(y_i-y_j)^2}$。

1.3 算法规则

规则 1 寻路蚂蚁从源节点出发,每只蚂蚁携带信息包括经过节点的剩余能量的总和及当前总跳数。

规则 2 寻路蚂蚁按式(3)选择下一跳节点,按式(4)(5)更新路径信息;返回蚂蚁按式(4)(6)更新路径信息。

规则 3 对寻路蚂蚁设定最大跳数限制,当寻路蚂蚁达到跳数限制,且下一跳节点为非目的节点时转变成返回蚂蚁,返回蚂蚁按原路径返回,同时将路径上的信息素更新为一个较小的值。

规则 4 寻路蚂蚁到达目的节点时自动转换成返回蚂蚁,返回蚂蚁回到源节点时消失。

规则 5 当人工蚂蚁按算法规则无法找到下一跳节点时,自动回退至前一跳节点重新进行搜索。

规则 6 当寻路蚂蚁到达某个节点时,执行变异操作——即按小概率随机选择下一跳节点,以增加解的多样性。

规则 7 当按算法规则在最近三次搜索中的跳数相同时,该寻路蚂蚁所在的源节点不再发出寻路蚂蚁。

规则 8 数据融合节点的选择:如果一个节点的信息流入有两个以上的分支,其为融合节点。

融合节点选择如图 1 所示。其中节点 1、2 为融合节点。

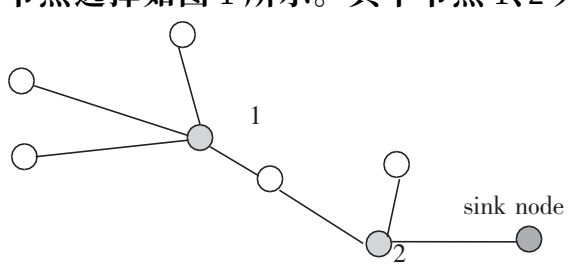


图 1 融合节点选择

1.4 算法步骤

文中算法步骤用伪代码表示如下:

```
begin
  /* Initialization */
    ηij = 1/Ej, Nmax = 50, τij = 0.01, Δτ = 0, Nc = 1
    while( termination condition unsatisfied)
    { for( ant = 1; ant ≤ m; ant ++ )
      { 将 m 只人工蚂蚁放置在源节点上}
      for( i = 1; i ≤ n; i ++ )
        { for ( ant = 1; ant ≤ m; ant ++ )
        { 寻路蚂蚁按式(3)及规则 6 选择下一跳节点}
        人工蚂蚁按规则 2 更新路径信息}
        if 超过跳数限制
        { 寻路蚂蚁变成返回蚂蚁,返回蚂蚁按规则 3 更新路径上的信息素}
        if 满足规则 7
        { 该寻路蚂蚁停止搜索,所在源节点不再发出寻路蚂蚁;
        if 找到目的节点
        { 寻路蚂蚁变成返回蚂蚁,返回蚂蚁按规则 2 更新路径信息}}
        Δτ = 0
        Nc = Nc + 1}
        按规则 8 找出数据融合节点
        输出最后结果
  end
```

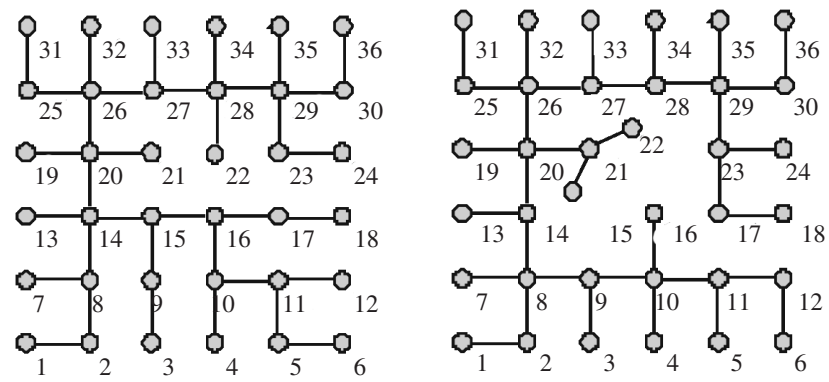
2 仿真研究

2.1 可扩展性

可扩展性仿真主要验证当网络拓扑发生变化时,算法是否仍能找到合适路由。

网络规模及参数:节点按正方形网格的形式布置在 100 m×100 m的区域中,节点间距离 15 m,节点数 36,有效通信距离 15 m。蚂蚁数为节点数减 1,$\alpha=2$,$\beta=2$,$\rho=0.2$,$Q=20$。网络拓扑变化规定为在时间 0.01 ~1 s 内有 5% 的节点移动。

如图 2 所示,本文算法在网络拓扑发生变化时仍然能找到目的节点(26 号节点)的合适路由,具有可扩展性的特点。



(a) 网络拓扑未发生变化时的路由情况 (b) 网络拓扑发生变化时的路由

图 2 可扩展性仿真

2.2 能耗

网络规模及参数:节点随机布置在 100 m×100 m的区域中,节点数 10 ~80,蚂蚁数为节点数减 1,$\alpha=2.5$,$\beta=2.5$,$\rho=0.2$,$Q=20$,节点初始能量 $E_s=1$ J,通信半径 25 m,每个节点接收和发送的数据均为 2 000 bit。仿真实验均进行 100 次,然后取平均值作为最后结果进行比较。

随机选择一个节点作为源节点,其余的作为目的节点,然后分别测试本文算法、Dijkstra 算法、GITDC[5] 算法单次广播通信的能量消耗。

能量消耗对比如图 3 所示。从图 3 可以看出,EECRA 算法单次广播能耗最少,节能效果较好。

2.3 网络生存期

网络生存期定义为从仿真开始到第一个节点能量耗尽时为止的时间。网络规模及参数与能耗仿真相同。随机选择一个节点作为目的节点,其余的作为源节点,进行通信实验。图 4 为本文算法、Dijkstra算法、GITDC 算法的网络生存期的比较。 (下转第 523 页)

中率、覆盖率和提升度进行评价。模型评价标准由分类矩阵(表 1)得到。

表 1　分类矩阵

流失情况	预测未流失	预测流失
实际未流失	TP	FP
实际流失	FN	TN

准确率: (TP + TN) /(TP + FP + FN + TN)

命中率: TN/(TN + FP)

覆盖率: TN/(TN + FN)

提升度: 命中率/实际的流失率

各模型的实验结果由表 2 给出。分析可知, 代价敏感的 SVM 在精确度、命中率、覆盖率和提升度上均有所提高, 表明此模型在预测客户流失问题时, 对于流失客户有更好的命中率和覆盖率, 能够使挽留成本投资在真正的流失客户身上, 最大可能地进行有效的挽留。

表 2　实验结果数据

预测模型	精确度	命中率	覆盖率	提升度
代价敏感 SVM	0.738 1	0.288 0	0.801 4	2.513 0
SVM	0.710 6	0.242 1	0.661 6	2.113 2
C4.5	0.711 4	0.235 2	0.623 3	2.053 2
ANN	0.665 7	0.178 6	0.643 8	1.558 4

4　结束语

客户流失预测是客户关系管理中的重要一环, 传统的数据挖掘方法对于客户流失问题预测效果并不理想。针对客户流失数据非平衡的特点和错分代价问题, 本文将代价敏感学习方法应用于不同惩罚系数的 SVM 建立预测模型, 通过实证结果分析表明, 此模型的覆盖率显著提高, 并且精确度、命中率和提升度也有不同程度的改善。说明此模型对于处理考虑错分代价的非平衡数据具有良好的预测性能。

参考文献:

[1] EICHHELD F F, SASSER W E. Zero defections: quality comes to service[J]. Harvard Business Review, 1990, 68(5): 105-111.

[2] WEI C P, CHIU I T. Turning telecommunications call details to churn prediction: a data mining approach[J]. Expert Systems with Applications, 2002, 23(2): 103-112.

[3] MOZER M C, WOLNIEWICZ R, GRIMES D B, *et al*. Predicting subscriber dissatisfaction and improving retention in the wireless telecommunications industry[J]. IEEE Trans on Neural Networks, 2000, 11(3): 690-696.

[4] 王雷, 陈松林, 顾学道. 客户流失预警模型及其在电信企业的应用[J]. 电信科学, 2006, 22(9): 47-51.

[5] 朱世武, 崔嵬, 谢邦昌. 移动电话客户流失数据挖掘[J]. 数理统计与管理, 2005, 24(1): 62-68.

[6] HADDEN J, TIWARI A, ROY R, *et al*. Computer assisted customer churn management: state-of-the-art and future trends[J]. Computers and Operations Research, 2005, 34(10): 2902-2917.

[7] KIM S, SHIN K S, PARK K. An application of support vector machines for customer churn analysis: credit card case[C]//Proc of the 1st International Conference on Natural Computation. 2005: 636-647.

[8] 应维云, 覃正, 赵宇, 等. SVM 方法及其在客户流失预测中的应用研究[J]. 系统工程理论与实践, 2007, 27(7): 105-110.

[9] CORTES C, VAPNIK V. Support vector networks[J]. Machine Learning, 1995, 20(3): 273-297.

[10] VEROPOULOS K, CAMBELL C, CRISTIANINI N. Controlling the sensitivity of support vector machines[C]//Proc of the International Joint Conference on AI. 1999: 55-60.

[11] CHANG C C, LIN C J. LIBSVM: a library for support vector machines[EB/OL]. (2008). http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/index.html.

(上接第 514 页)

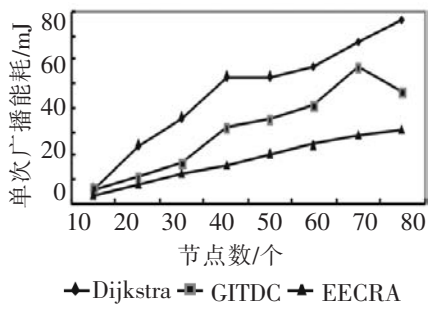


图 3　能量消耗对比

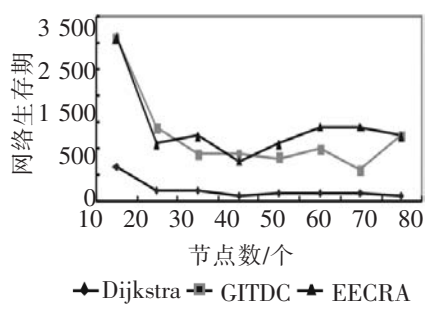


图 4　网络生存期对比

GITDC 算法是性能较好的一种 DC 路由算法。从图 4 可以看出本文算法比 GITDC 算法的网络生存期在多数情况下略好, 总体上优于其他两种算法。

3　结束语

无线传感器网络中的路由算法应是节能的、以数据为中心的路由算法。本文采用蚁群算法和数据汇聚的策略去降低节点的通信能耗, 提出了一种节能路由算法。从仿真结果可以看出, 该算法在能耗、网络生存期方面相比典型算法具有更好的性能。

参考文献:

[1] RICI T, ALTUNBASAK Y. Adaptive sensing for environment monitoring using wireless sensor networks[C]//Proc of IEEE Wireless Communications and Networking Conference. 2004: 2350-2355.

[2] MAINWARING A, POLASTRE J, SZEWCZYK R, *et al*. Wireless sensor networks for habitat monitoring[C]//Proc of the 1st ACM Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications. 2002: 88-97.

[3] HEINZELMAN W R, CHANDRAKASAN A, BALAKRISHNAN H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks[C]//Proc of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences. Hawaii: [s. n.], 2000: 3005-3014.

[4] INTANAGONWIWAT C, GOVINDAN R, ESTRIN D, *et al*. Directed diffusion for wireless sensor networking[J]. IEEE/ACM Trans on Networking, 2003, 11(1): 2-16.

[5] KRISHNAMACHARI B, ESTRIN D, WICKER S. Modelling data-centric routing in wireless sensor networks[C]//Proc of IEEE INFOCOM. 2002: 42-49.

[6] COLORNI A, DORIGO M, MANIEZZO V. An investigation of some properties of an ant algorithm[C]//Proc of the Parallel Problem Solving from Nature Conference. Brussels, Belgium: Elsevier Publishing, 1992: 509-520.

[7] HUSSEIN O, SAADAWI T. Ant routing algorithm for mobile Ad hoc networks (ARAMA)[C]//Proc of IEEE International Conference on Performance, Computing and Communications. 2003: 281-290.

[8] ESTRIN D. Wireless sensor networks tutorial part IV: sensor network protocols[R]. Mobicom: [s. n.], 2002: 23-28.