

一种优化算法物联网技术分布式协作路由研究

付俊辉, 刘 震, 李晓辉
(河南科技学院, 河南 新乡 453003)

摘 要: 研究无线传感器网络分布式协作优化问题。针对无线传感器网络资源利用率和传输效率低下等问题, 建立了一种基于遗传优化算法的无线信道质量预测的分布式优化协作路由技术。该技术充分利用遗传算法, 采用启发式方法建立无线链路信道信噪比预测模型, 然后根据信道质量选择最优者作为协作节点, 以较小代价在动态无线网络拓扑中搜寻到最优路由。数学分析表明, 遗传算法收敛速度快、可靠性高, 可以准确地预测无线链路质量; 同时该协作路由技术对无线传感器网络具有更好的适应性, 并有效延长了网络生命周期。

关键词: 遗传算法; 无线传感器网络; 信噪比; 协作路由

中图分类号: TN929.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)04-1480-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.04.077

Distributed optimization cooperative routing technology based on genetic algorithm for wireless sensor networks

FU Jun-hui, LIU Zhen, LI Xiao-hui

(Henan Institute of Science & Technology, Xinxiang Henan 453003, China)

Abstract: This paper researched a distributed cooperative routing technology of a wireless sensor network data transmission based on the genetic algorithm for channel prediction. Wireless sensor network, difficult for the effective utilization of resources and the transmission efficiency was low wait for a problem, which was based on genetic algorithm for wireless channel quality prediction for distributed cooperative transmission routing technology. The technology made full use of the genetic algorithm, using heuristic methods, established a wireless link channel signal to noise ratio prediction model, and then chose the best according to the channel quality as cooperative nodes, with lesser cost in dynamic wireless network topology to search for the optimal route. Mathematical analysis shows that the genetic algorithm has a fast convergence speed and high reliability, can accurately predict the wireless link quality, the cooperative routing technology of wireless sensor network has better adaptability and prolong the network life cycle at the same time.

Key words: genetic algorithm; wireless sensor network; signal noise ratio; cooperative routing

无线传感器网络的动态特性严重影响了传统路由协议的性能。节点移动、多跳、拓扑结构频繁变化,以及有限的信道带宽和能量资源使得路由协议的设计面临巨大挑战^[1,2],对比近年来已取得了一系列研究成果^[3-7]。文献[3]利用最优化理论研究了在多路径环境下的负载均衡问题。均衡算法基于粒子群优化算法(particle swarm optimization algorithm, PSO),动态调整每个路径的转发比例,能有效地降低网络丢包率,提高网络性能。文献[4]讨论了多 QoS 约束的多播路由问题,提出了一种基于遗传算法中小生境技术的 QoS 多播树选择算法,同时优化了多 QoS 参数。文献[5]提出了一种基于遗传算法的 QoS anycast 路由技术。文献[6]提出了以 Pruifer 序列作为染色体编码基础的遗传算法,并对算法的复杂度进行分析。文献[7]构建了节点选择、能量评价和节点能耗权重模型,提出了一种可以满足 QoS 带宽需求的能量最优路由发现方法,分析结果表明该路由发现方法对无线传感器网络具有更好的适应性,使网络具有更长的网络寿命。

但以上研究成果仍存在一些不足,如对于无线信道质量

对数据传输效率的直接影响问题,均未作进一步深入研究。无线信道的信噪比可以很好地反映当前信道质量,因此本文采用协作分集技术,建立一种收敛速度快的遗传算法模型预测将来的无线信道质量,然后依据信噪比进行中继选择,建立最佳路由。

1 基于遗传算法的信道质量预测

1.1 遗传算法预测模型

根据模拟生物进化论中的遗传选择和自然进化的迭代过程^[8,9],在每个迭代周期,自适应选择参数和算子,保留候选解(即无线信道信噪比)而删除不合格解,然后对候选解进行交叉、变异、置换和逆转等遗传运算,产生将来的新候选解,即预测无线信道信噪比。该问题用数学方法可以表述为

$$\sum_{i=1}^m A_i Y_i \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^m T_i Y_i \leq U \quad Y_i \in \{0, 1\}, 1 \leq i \leq m \quad (2)$$

其中:式(1)表示遗传运算的最大化过程,式(2)表示最大化运

收稿日期: 2011-09-03; 修回日期: 2011-10-12

作者简介: 付俊辉(1978-),男,河南洛阳人,讲师,硕士,主要研究方向为传感器网络(yiqihezuo@163.com);刘震(1976-),女,河南原阳人,实验师,硕士,主要研究方向为网络信息管理与网络安全;李晓辉(1981-),男,河南焦作人,助教,硕士,主要研究方向为计算机视觉。

算时的限制条件, T_i 表示第 i 个进化活动的资源消耗, U 表示总共的可用资源, Y_i 表示第 i 个进化活动中获取的收益。 Y_i 是二进制数据, 如果执行第 i 个进化活动, 则 Y_i 赋值为 1, 否则赋值为 0。

由此, 预测信噪比的问题可归结为, 在无线传感器网络总体可用资源和节点当前资源的限制条件下追求信噪比最大收益。基于遗传算法求解信噪比问题的运算步骤为:

a) 初始赋值过程。产生 N 个随机序列 $F_k, 1 \leq k \leq N$, 此处 N 序列表示根据当前无线传感器网络状态选择的初始种群矩阵。

b) 遗传迭代过程。根据 N 个二进制数组成的字符串 F_k , 记录可能解 (即可能候选解)。如果执行第 i 个进化活动, 则 $F_k(i)$ 赋值为 1, 否则为 0。

c) 参数和算子运算过程。将求解的信噪比的目标函数为

$$J(F_k) = \sum_{i=1}^N F_k(i) A_i \tag{3}$$

并对进化过程中所用到的算子进行预算, 求得惩罚运算时所用到的权值 γ 。

d) 生存筛选过程。对于候选解序列 $F_k(i)$, 计算其筛选后保留的概率 P_k 为

$$P_k = f(T_k) / g(T_k) \sum_{j=1}^N f(T_j) \quad 1 \leq k \leq N \tag{4}$$

然后根据 P_k 数组设计随机选择器筛选杂交个体。

e) 交叉、变异和逆转过程。

f) 得到新解过程。根据 e) 的运算结果, 将 $F_k(i)$ 在第 i 次进化活动中的任意两个个体 F_i 和 F_j 组合进化得到新一代杂交个体 $\bar{F}_i$ 和 $\bar{F}_j$, 持续迭代过程直至得到所有 N 个新一代个体集合。

g) 重复步骤 b) ~ e), 直到满足预先设定的收敛条件, 得到当前相邻节点到源节点无线信道的信噪比最大者。

1.2 预测模型性能分析

为了验证遗传算法预测源节点到相邻节点间的无线信道信噪比, 采用 NS-2 仿真工具进行了一系列实验, 统计节点剩余能量值, 并与 MATLAB 工具实现遗传预测算法得到的预测值进行对比, 结果如图 1 所示。针对不同网络规模对预测性能进行分析。假设网络规模分别为 20、30、40、50 个节点。仿真中分别在 5 个和 10 个源节点一目的节点对之间发送数据, 数据包发送的速率为每秒 10 个包, 其他实验参数详见表 1。

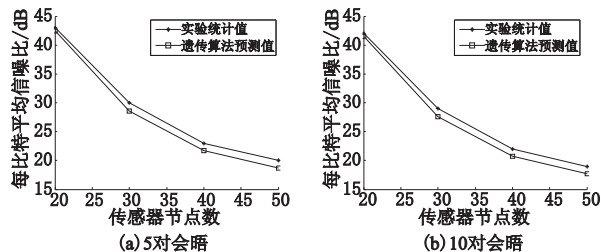


图1 不同会唔个数条件下信噪比预测结果对比

表1 参数设置

参数	值	参数	值
仿真时间	1000 s	传输层协议	UDP
传感器数目	20, 30, 40, 50	路由协议	DSR
拓扑大小	100 m × 100 m	会唔个数	5, 10
数据包	1500 Byte	单跳射频覆盖范围	150 m
MAC 协议	IEEE 802. 15. 4	信道带宽	1 Mbps

在不同网络规模下, 源节点与接收节点之间传输每比特平均信噪比仿真实验统计值与预测值对比结果如图 1 所示。可以看出, 随着节点数的增加, 信噪比逐渐降低, 这是因为节点间的广播消息增加了干扰信号, 使得信道质量越来越差。此外对比图 1 可发现, 随着网络中会唔数的增加, 信道质量也越来越差。预测值与统计值相比, 随着节点数的增加, 误差越来越大, 这是因为遗传算法预测 N 个二进制数组成的字符串 F_k 可能候选解时受到的干扰越来越大, 生存筛选后保留的概率 P_k 逐渐减小, 但是最大的误差值仍小于 1.3, 表明遗传算法可以以较快的收敛速度预测信道质量。

2 分布式协作路由技术

考虑一个给定任意一个源节点 S 和接收节点 D 以及 N 个其他节点的无线传感器网络, 在 S 与 D 之间寻求总发射功率最小化且具有一定可靠性的协作路由。具体工作流程如下:

a) 源节点发送广播消息, 相邻节点或接收节点可捕获来自源节点的信号。

b) 相邻节点或接收节点向源节点反馈信号, 源节点根据收到的反馈信息得到当前无线链路间信噪比, 并用遗传算法预测各无线链路未来信噪比, 从中选出最大者作为中继节点, 并发送广播消息与源节点之间建立协作通信关系。

c) 在选中的中继节点上, 执行 b), 选择下一跳中继节点, 直至接收节点 D 。

d) 建立协作路由。源节点 S 通过协作节点向接收节点 D 传输数据, 如果出错则由中继节点重发该数据, 这样可以有效减小数据包重传次数和往返时延。

3 实验结果与分析

采用 NS-2 和 MATLAB 对所提的基于遗传算法的协作路由技术与非协作路由技术、协作路由技术在系统能效、系统吞吐量、路由开销、时延和分组递交率上进行比较与分析, 实验参数详见表 1。

分析基于遗传算法的协作路由技术与协作路由技术采用 MATLAB 实现, 同时假设无线链路信道为 Nakagami- m 信道, 调制方式为 DQPSK 调制。

图 2 分别从系统能效和系统吞吐率上对比了三种路由技术。图 2(a) 纵坐标表示系统能效百分比值; (b) 纵坐标表示系统吞吐率百分比值, 横坐标表示传感器节点数的变化。可见, 协作方式可以在保持高吞吐率的同时有效提高能量使用效率, 其中基于遗传算法的协作路由技术能效最高。特别是当节点数达到 50 个后, 协作路由技术的能效和吞吐率与非协作路由技术几乎相同, 此时难以继续提高能效, 但是基于遗传算法的协作路由此刻依然可以在高吞吐率的同时保持高能效。

此外, 对三种路由技术在网络负载变化下的路由开销、时延和分组递交率进行了对比, 结果如图 3 所示。图 3(a) 纵坐标表示路由开销百分比值; (b) 纵坐标表示发送节点与接收节点间端到端时延; (c) 纵坐标表示分组成功递交概率百分比值; 图 3 横坐标表示传感器节点数变化。三种路由技术的时延都随着网络负载增大而增大。对于基于遗传算法的协作路由

技术,其时延性能均优于其他两种路由技术。三种路由技术的分组传递率都随着网络负载的增加而下降,而其中非协作路由技术的性能最差。当网络节点数大于30时,所有协议的分组传递率都急剧下降,非协作路由技术和协作路由技术都低于72%,但基于遗传算法的协作路由技术的性能要明显好于它们,始终保持在80%以上,这说明基于遗传算法的协作路由技术适合于场景变化比较大的无线传感器网络。

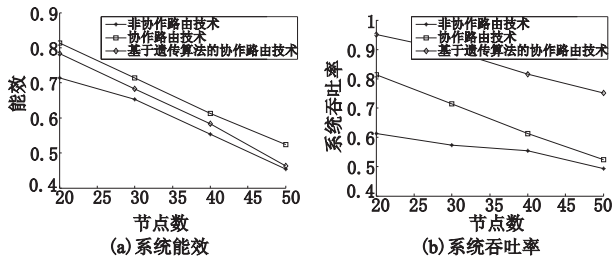


图2 不同网络规模下三种路由技术在能效和吞吐率上的性能对比

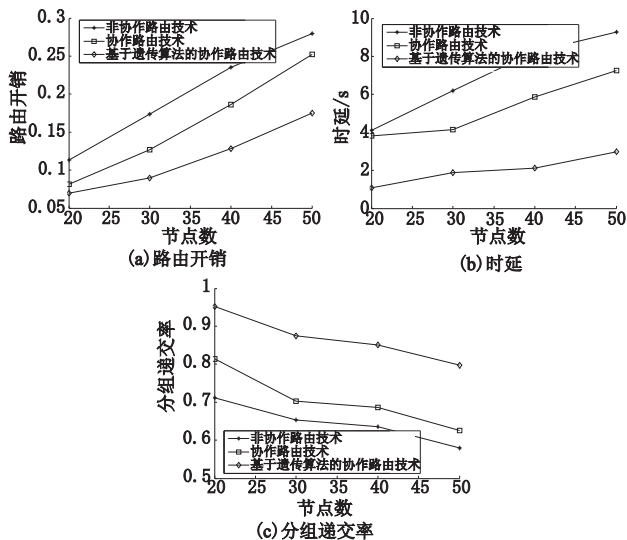


图3 不同网络规模下三种路由技术在路由开销、端到端时延和分组递交率的对比

图2和3表明,基于遗传算法的信道质量预测协作路由技术可以充分利用无线信道资源,合理选择中继节点建立协作路由,在系统有效吞吐率和系统能效以及路由开销、时延和可靠性方面均可以获得良好的性能,是一种非常适合于无线移动传感器网络的路由技术。

4 结束语

针对无线传感器网络动态拓扑结构、动态信道和能量受限等特性,研究了一种适用于无线传感器网络的基于信道质量预测的分布式协作路由技术。采用遗传算法模型预测节点间信道质量,建立了一种基于信道质量的分布式中继选择机制,并据此建立了一种分布式优化协作路由技术。根据 NS-2 和 MATLAB 数学分析表明,遗传算法以较快的收敛速度和较高的可靠性准确地预测了无线链路质量,另一方面该分布式优化协作路由技术在提高无线传感器网络资源利用率的同时有效延长了网络生命周期,验证了该路由技术对于无线传感器网络具有更好的适应性。

参考文献:

- [1] WANG Yan, LIU Le-qing. A cross-layer optimization algorithm for wireless sensor network [C]//Proc of International Conference on Display and Photonics. [S.l.]: IEEE Press, 2010.
- [2] 邹少军. 基于量子遗传算法的无线传感器网络路径优化[J]. 计算机测量与控制, 2010, 18(3): 723-726.
- [3] 蔡凌, 汪晋宽, 王翠荣. 一种粒子群优化的多路路由负载均衡算法[J]. 小型微型计算机系统, 2010, 31(9): 516-522.
- [4] 孙宝林, 李腊元, 陈华. 基于遗传算法的实时 QoS 多播路由优化算法[J]. 计算机应用, 2004, 24(11): 213-217.
- [5] LI Tao-shen, XIAO Meng. An improved ant colony optimization algorithm for multiple quos anycast routing [C]//Proc of International Conference on Computer and Communication Technologies in Agriculture Engineering. [S.l.]: IEEE Press, 2010.
- [6] 胡晓东, 李先国, 赵涛. 基于遗传算法的重叠多播路由计算[J]. 微电子学与计算机, 2005, 22(4): 1011-1014.
- [7] 王毅, 张德运, 张栋. 无线传感器网络满足 QoS 带宽需求的能量最优路由方案[J]. 传感技术学报, 2006, 19(6): 810-814.
- [8] 宁欢, 王长山, 郭彬. 遗传算法在片上网络 QoS 路由中的应用[J]. 中国集成电路, 2010, 19(3): 437-440.
- [9] 梁野. 基于遗传算法的资源交互路由优化[J]. 计算机工程, 2011, 37(3): 890-894.

(上接第1469页)

- [5] LIAN J, NAIK K, AGNEW G. Data capacity improvement of wireless sensor networks using non-uniform sensor distribution[J]. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2006, 2(2): 121-145.
- [6] KARP B, KUNG H T. GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks [C]//Proc of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. New York: ACM Press, 2000: 243-254.
- [7] WANG Xiao-ming, JIANG Xiao-hong, YANG Tao, et al. Node aggregation degree-aware random routing for non-uniform wireless sensor networks[J]. IEICE Transactions, 2011, E94. B(1): 97-108.
- [8] 杨云, 陈拥军, 张敬, 等. 基于最小跳数的 WSN 非均匀分布的路由算法[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(9): 3446-3448.
- [9] 李戈阳, 曹阳, 高洵, 等. 基于模糊梯度的无线传感器网络能量均

衡路由协议[J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2008, 35(12): 83-87.

- [10] 吴三斌, 王小明, 杨涛, 等. 改进的 GPSR 模型及其仿真分析[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(8): 100-104.
- [11] HEINZELMAN W B, CHANDRAKASAN A P, BALAKRISHNAN H. An application specific protocol architecture for wireless microsensor networks[J]. IEEE Trans on Wireless Communications, 2002, 1(4): 660-670.
- [12] WANG A, HEINZELMAN W B, SINHA A, et al. Energy scalable protocols for battery-operated micro sensor networks[J]. Journal of VLSI Signal Processing, 2001, 29(3): 223-237.
- [13] SHU Lei, WU Chun, ZHANG Yan, et al. NetTopo: beyond simulator and visualizer for wireless sensor networks [C]//Proc of the 2nd International Conference on Future Generation Communication and Networking, 2008: 17-20.