

基于马尔可夫博弈的 WSN 功率控制研究

刘 芳¹, 马争先²

(1. 广西财经学院 实验教学中心, 广西 南宁 530003;
2. 格力电器股份有限公司, 广东 珠海 519070)

摘 要:无线传感器网络中的节点能量有限、工作环境复杂,易导致节点能量消耗不均,节点耗能不均将极大地缩短网络生命周期。针对无线传感器网络中节点能量有限和耗能不均问题,建立了一种基于马尔可夫博弈的功率控制模型。该模型引用分簇结构,确定研究对象为簇头节点;引入多信道技术,不同信道使用不同概率调节各自簇头节点的发射功率来降低节点之间的相互干扰,进行节点功率优化;通过迭代方式进行功率和概率补偿,求解功率控制模型中的纳什均衡,使节点发射功率达到最优,达到整个网络节点能量的均衡消耗,延长网络生命周期。仿真结果表明,该模型在网络节点能量消耗的均匀程度、加强节点之间的合作、减少节点间信道竞争和延长网络生命周期上都有显著效果。

关键词:马尔可夫博弈;功率控制;纳什均衡;无线传感器网络

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2017)04-0188-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2017.04.042

Investigation on WSN Power Control with Markov Game

LIU Fang¹, MA Zheng-xian²

(1. Experimental Teaching Center, Guangxi University of Finance and Economics,
Nanning 530003, China;
2. Gree Electric Appliances, Inc., Zhuhai 519070, China)

Abstract: It can result in imbalance of energy consuming and shortening of network life that limited energy and complex work environment of network nodes in wireless sensor network. Aiming at limited energy and imbalance of energy consuming in wireless sensor networks, the power control model is constructed based on Markov game. Referencing cluster structure, research object are cluster head nodes. Then introducing multi-channel technology, the node power can be optimized through using different probability to adjust transmit power with different channel to reduce mutual interference between nodes. Method of adopting iteration computation is used to compensate transmitting power and probability to obtain the Nash equilibrium, to optimize node transmitting power, to balance network nodes energy consumption and prolong left-time of the network. The experimental results show that the model can effectively improve the uniformity of energy consumption of network nodes, strengthen cooperation between nodes, reduce node channel competition and prolong left-time of the network.

Key words: Markov game; power control; Nash equilibrium; wireless sensor network

0 引 言

综合无线通信、传感器和分布式信息处理技术的无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)已经成为当前涉及多学科高度交叉、知识高度集成的前沿热点研究领域。其在环境检测、战场监视以及交通流量监测等方面应用广泛^[1-2]。然而,无线传感器网络由大量微型传感器组成,传感器节点不仅能量有限、成本高、体积小,而且节点繁多、工作环境复杂,更换电池

或电池充电较难。如何在有限能量的条件下最大化网络生命周期是传感器网络面临的首要挑战。

功率控制技术能够有效降低能量消耗,是延长传感器网络使用寿命的有效手段^[3]。CLUSTERPOW路由协议^[4]使用不同的传输功率对不同的目的节点能够保证通信的最小发射功率,但节点要维护路由表,增加网络能量的消耗。CLUSTERPOW-DSDV路由协议^[5]对 CLUSTERPOW 路由协议进行改进,降低路由开销。

收稿日期:2016-05-17

修回日期:2016-09-09

网络出版时间:2017-03-07

基金项目:广西高校中青年骨干教师基础能力提升项目(KY2016LX314);广西教育科研项目(201106LX191);广西财经学院校级课题(2016D101)

作者简介:刘 芳(1984-),女,硕士研究生,讲师,研究方向为网络安全和电子商务。

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20170307.0921.038.html>

Chaturvedi A 等^[6]对标准协议进行改进,提高了网络吞吐量。Harold S 等^[7]提出的协议以最大传输功率计算发送数据需要的最小发射功率,以最小发射功率进行通信,但最大功率会使能量消耗过多并增加信道相互干扰的概率。Vejarano G 等^[8]提出了一种分布式最优优化吞吐量的功率分配算法,增加网络吞吐量。

上述算法和协议从节点单方面进行能量优化,不能优化整个网络能量消耗。针对无线传感器网络中的耗能问题,在现有功率控制算法和协议的基础上,引入马尔可夫博弈,给出了基于马尔可夫博弈的功率控制模型(MGTPC)。该模型能够有效调节能量的均衡消耗。

1 簇

无线传感器网络不同于传统的无线网络,其所有节点都向汇聚节点传输数据,属于多对一的通信网络。到汇聚节点距离不同可能导致能量使用不均,从而使局部节点过早死亡,引起网络拓扑结构的变化^[9]。在传感器网络中,为保证原有覆盖范围内的数据通信,节省节点能量,使用分簇式体系结构^[10]。网络节点包括簇头节点和簇内节点(普通节点),簇头节点对簇内节点进行管辖,如图1所示。

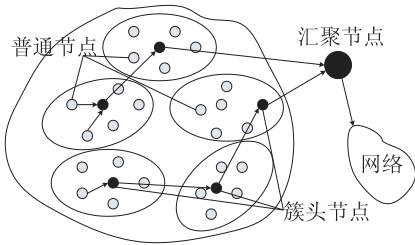


图1 簇结构

传感器网络中研究的对象即为簇节点,簇内节点把数据传输给簇节点,簇节点收集数据并直接或间接地向汇聚节点发送,簇节点之间的通讯是双向的。无线传输过程存在噪声干扰,为抑制信噪比,节点会提高发射功率。当所有节点都提高发射功率,将占有很大范围的频率,浪费节点能量,并出现干扰现象。为了避免数据拥塞和相互干扰现象,假设每个簇被划分为 n 个数据传输信道(数据传输)和 1 个控制信道(确定簇节点工作状态)。

节点启动后,若在一段时间内没有接收到其他节点发送的控制信号,节点将向其他节点发送控制信号,成为簇头;节点若接收到控制信号,则不成为簇头。簇头形成后,其他节点向簇头节点发送信息确定节点所在的簇。簇节点会把簇内节点的相关信息保存到自己的节点列表中。簇形成后,簇内节点必须通过单跳的形式给簇头节点传递信息,簇头节点向汇聚节点传递

数据根据能量消耗的最优方式来选择单跳或多跳。若簇头节点的能量消耗过多,簇头节点将自动成为普通节点,其他节点根据自身的能量情况,成为新的簇头节点并进行通信。簇内的通信都是固定的单跳通信,如簇头能量不多时可以自行调整。研究重点是簇头之间的通信,研究对象也是簇头节点。

2 功率控制模型

2.1 模型

无线传感器网络的功率控制,引入多信道技术,采用不同功率进行通信。若功率过大,会浪费能量;反之会增加通信的信噪比,无法保证通信质量;功率相近会产生干扰^[11]。为解决上述问题,通过建立马尔可夫博弈模型进行功率控制。不同信道使用不同概率进行功率发送,从而避免能量浪费,增加通信信噪比,降低节点之间的相互干扰程度。假设有 C 个簇节点,每个节点有 m 个数据传输信道。马尔可夫博弈模型为:

$$\Gamma = (A, S, P, G, R) \quad (1)$$

其中, A 表示参与者的集合,研究的网络场景中有 n 个簇节点, a_i ($a_i \in A$) 表示第 i ($1 \leq i \leq n$) 个参与者; S 表示状态集, $S = \{0, 1\}$, 0 表示节点不参与数据的转发过程,1 表示节点参与数据的转发过程; P 表示节点的发射功率,针对 m 个数据传输信道,用 P_j 表示第 j ($1 \leq j \leq m$) 个数据传输信道的发射功率; G 表示节点发射功率对应的概率, G_j 表示对应 P_j 发送功率的概率; R 表示参与者参与博弈后的收益, R_i 表示第 i ($1 \leq i \leq n$) 个参与者的收益。

2.2 参数计算

2.2.1 功率计算

簇形成后,簇头将确定其发射功率的范围: $[P_{\min}, P_{\max}]$, P_{\min} 是节点发射功率的最小值, $P_{\min} = P_t R_t / P_r$ 。其中, P_t 为发送端发射功率; R_t 为接收节点的接收门限; P_r 为接收端接收功率。 P_{\max} 是节点发射功率的最大值,它由传感器的物理性质决定,跟传感器的出厂规格有关,是一个定值。

2.2.2 概率计算

由于整个网络的节点几乎都是分布在同一环境下,检测相同对象,所以节点数据的重要程度也应该一样。不同信道的发射功率的概率根据节点发送数据的大小来确定。用 Byte_j 表示第 j ($1 \leq j \leq m$) 个信道中要传输数据的大小。信道 j 以功率 P_j 发送数据的概率为:

$$G_j = \frac{\text{Byte}_j}{\sum_{j=1}^m \text{Byte}_j} \quad (2)$$

且 $\sum_{j=1}^m G_j = 1$ 。

2.2.3 收益计算

收益 R 为衡量策略优劣和寻求纳什均衡点的标准,它为节点剩余能量和节点发送数据大小的函数。则:

$$R = f(E_{\text{remain}}) + g(\text{Byte_send}) \quad (3)$$

由于能量的单位为 J(焦耳),数据大小的单位是 B(比特),所以两者之间无法直接计算,要通过归一化处理使二者都变成无量纲的数据,从而有利于数学上的直接计算。

$$f(E_{\text{remain}}) = E_{\text{remain}}/E \quad (4)$$

$$g(\text{Byte_send})_{w+1} = \begin{cases} 1, w = 1 \\ g(\text{Byte_send})_w + \text{Byte_send}_w / \sum_{i=1}^w \text{Byte_send}_i, w \geq 1 \end{cases} \quad (5)$$

其中, w 为通信次数。

3 博弈策略

在基于马尔可夫博弈的功率控制模型中,针对节点发射功率选择,通过概率的调节,进行功率分配,采用迭代方法进行功率和概率补偿,从而使网络收益函数达到最大,实现网络功率优化。

3.1 功率和概率的调节

节点的功率必须在保证通信质量的前提下进行讨论,即 $P_{\min} \leq P \leq P_{\max}$ 。发射功率不能太大,否则会对低发射功率的节点产生“压制作用”,使公平性降低;发射功率如果太小,通信将不能更好地抑制噪声,从而无法保证通信质量。

控制信道发现当前发射功率不适宜或者节点之间出现相互干扰的行为时,节点将自动进行发送功率和概率的补偿。

$$P' = P + \Delta(P) \quad (6)$$

$$G' = G + \Delta(G) \quad (7)$$

其中, $\Delta(P)$ 和 $\Delta(G)$ 分别为补偿功率和补偿概率。

$$\Delta(P) = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{m} \quad (8)$$

$$\Delta(G) = \frac{G_{\max} - G_{\min}}{m} \quad (9)$$

节点发送功率和信道发射功率的概率通过上述公式依次迭代,直至最优。

3.2 总体收益

在 n 个簇头节点的网络中,每个节点有 m 个数据传输信道。节点 i 的功率矩阵为:

$$P_i = [P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{im}] \quad (10)$$

通信时间间隔矩阵为:

$$t_i = [t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{im}]^T \quad (11)$$

状态矩阵为:

$$S_i = \begin{bmatrix} s_{i1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & s_{i2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & s_{im} \end{bmatrix} \quad (12)$$

其中, $s_{ij} \in \{0, 1\}$ 。

则节点 i 的耗能为:

$$E_{\text{consume}_i} = P_i \times S_i \times t_i = [P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{im}] \times \begin{bmatrix} s_{i1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & s_{i2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & s_{im} \end{bmatrix} \times [t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{im}]^T \quad (13)$$

节点 i 发送数据大小为:

$$\text{Byte_send}_i = [\text{Byte_send}_1, \text{Byte_send}_2, \dots,$$

$$\text{Byte_send}_m] \times \begin{bmatrix} s_{i1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & s_{i2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & s_{im} \end{bmatrix} \times [t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{im}]^T \quad (14)$$

节点的剩余能量为:

$$E_{\text{remain}_i} = E - E_{\text{consume}_i} \quad (15)$$

将式(14)和式(15)带入式(3)求出节点 i 的收益:

$$R_i = f(E_{\text{remain}}) + g(\text{Byte_send}) \quad (16)$$

则:

$$R_{\text{all}} = \sum_{i=1}^n R_i \quad (17)$$

通过迭代求出 (P^*, G^*) , 使之满足 $R_{\text{all}}(P^*, G^*) \geq R_{\text{all}}(P, G)$, 即 R_{all} 最大, 此时 (P^*, G^*) 为纳什均衡点。

4 仿真实验与分析

4.1 仿真环境

使用 PRISM 和 MATLAB 作为仿真工具,为评估基于马尔可夫博弈的功率控制模型的性能,将已有的功率控制模型进行比较。

实验参数如表 1 所示。

为了说明基于马尔可夫博弈的功率控制模型更具一般性,在目标区域内采用随机生成节点的方法,所研究的节点均为簇头节点。随机生成 80 个节点的分布图,如图 2 所示。

4.2 网络吞吐量

不同算法下,网络有效吞吐量的比较如图 3 所示。

LSC-RPC^[12]是一种基于跨层设计的能动态适应网络变化的分簇功率控制算法;SMAC-CRPC^[13]是一种通过调整发射功率的概率,减少信道冲突,实现功率控制的算法,对硬件设备的要求较高。AODV-802.11 协议^[14]是一种网络经典协议。由图 3 可知,所有算法的吞吐量都是随着网络节点数的增加而减小,因为随着节点的增加,节点信道之间竞争比较激烈,影响了节点间的通信。

表 1 实验参数

参数名称	数值
节点坐标范围	1 000 m×1 000 m
通讯半径/m	200
簇头节点数/个	50~100
包的长度/bytes	1 000
发射功率范围/W	1.0~2.0
节点信道数/个	8
节点初始能量/J	100

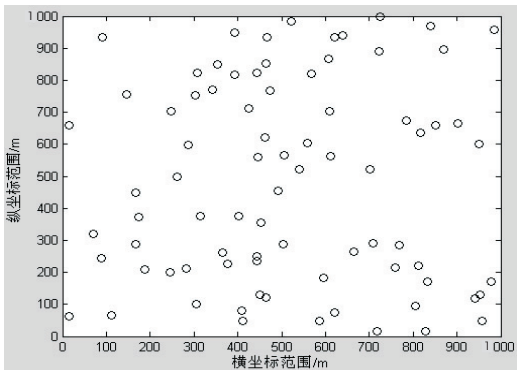


图 2 80 个节点分布图

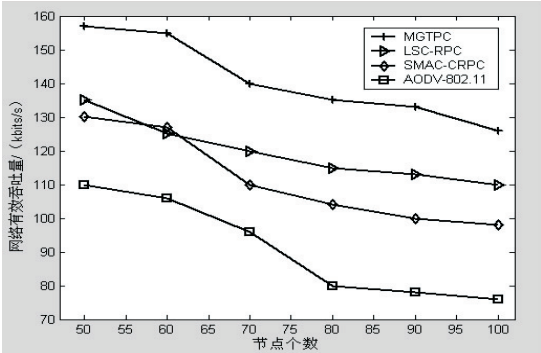


图 3 网络有效吞吐量对比

LSC-RPC 从网络跨层优化的角度出发,综合考虑能量效率和节点通信的公平性,所以该算法的有效吞吐量趋向于平滑。SMAC-CRPC 协议根据最优邻居原则,采用调用机制维护节点调度信息,从而提高网络吞吐量,但在节点数量少的情况下吞吐量变化波动大。由于引入基于马尔可夫博弈,加强了节点之间的合作,减少了节点之间的信道竞争,而且随着节点的增多变化趋势趋

4.3 剩余能量

当任意节点出现能量剩余低于 40 J 的时候,仿真实验终止,比较这种情况下的节点剩余能量。图 4 给出了四种协议下,节点 ID 号为 5,10,⋯,80 的节点能量剩余图。

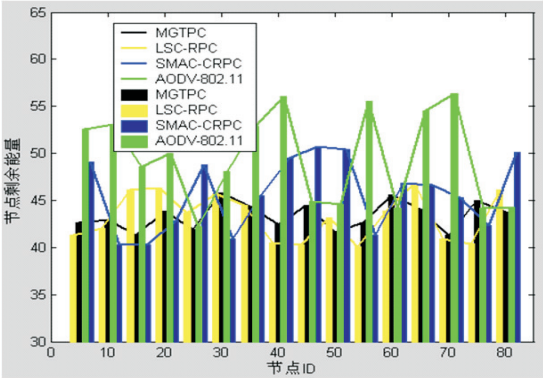


图 4 节点能量剩余对比

由图 4 可知,MGTPC 中节点能量剩余曲线较平稳,节点的能量剩余方差也相对较小,节点耗能更接近于均匀。MGTPC 可以有效提高网络节点能耗的均匀程度,有效延长网络生命周期。

5 结束语

针对无线传感器网络节点耗能不均问题,定义了基于节点功率和信道控制的博弈模型,成功引入马尔可夫博弈,建立了基于马尔可夫博弈的功率控制模型。仿真实验结果表明,与其他模型相比,所定义的模型有效地增加了网络节点能耗的均匀程度,延长了网络生命周期,并提高了网络的有效吞吐量。

参考文献:

[1] 马争先,董荣胜,王玉斌,等. 针对窃听问题的马尔可夫博弈路由模型的研究[J]. 计算机科学,2011,38(11):34-36.

[2] 张 法, Antonio Fernandez Anta, 王 林,等. 网络能耗系统模型及能效算法[J]. 计算机学报,2012,35(3):603-615.

[3] 于 凯,谢志军,金 光,等. 基于功率控制的无线传感器网络 MAC 协议研究[J]. 传感技术学报,2013,26(9):1297-1302.

[4] 张文彬,杨孝宗. 改进的路由协议 BLOCKING-COMPOW[J]. 计算机工程与应用,2011,47(16):89-92.

[5] Rahman J, Hasan M A M, Islam M K B. Comparative analysis the performance of AODV, DSDV and DSR routing protocols in wireless sensor network[C]//Proceedings of the ICECE. [s. l.]:[s. n.],2012:283-286.

[6] Chaturvedi A, Tiwari D, Bhadoria R S, et al. Route discovery protocol for optimizing the power consumption in wireless ad-hoc network[C]//Proceedings of the CSNT. [s. l.]:[s. n.],

特点与太湖周边污染源分布密切相关,由于太湖周边经济的快速发展,化肥、农药的大量使用,洗衣机的普及,含磷洗衣粉用量大大增加,工业废水的排放,加之围湖造田的影响,进入太湖中污染物的浓度超过了太湖自我进化的能力,导致浮游植物易于生长,藻类大量聚集,不利于生态环境循环。

所反演的叶绿素浓度的空间分布趋势与太湖流域水资源保护局^[12]提供的太湖水体质量监测结果基本一致。但是选取的测量点主要集中在北部区域,南部区域数据很少,因此反演得到的太湖叶绿素浓度与实际值之间还有一定的误差,若要减少 FLH 与太湖实测叶绿素浓度线性回归之间的误差,还必须获取大量南部区域的太湖水域叶绿素浓度实测数据值。

4 结束语

基于太湖实测叶绿素浓度数据和 MERIS 数据,构建了基线荧光高度模型,得出以下结论:

(1)利用基线荧光高度模型基本上能反演出太湖叶绿素浓度的分布格局。

(2)太湖叶绿素浓度的空间分布主要受氮、磷等营养物质排放源的分布影响。

因此,利用 MERIS 荧光高度算法进行太湖水体叶绿素 a 浓度的反演,对于太湖出现“水华”现象的监测具有重要的现实意义。今后的研究内容将侧重于对于不同季节和地域的叶绿素浓度估算进行参数校正^[13-15]。

参考文献:

[1] 马荣华,唐军武,段洪涛,等. 湖泊水色遥感研究进展[J]. 湖泊科学,2009,21(2):143-158.

[2] 周冠华,柳钦火,马荣华,等. 基于半分析模型的波段最优化组合反演混浊太湖水体叶绿素[J]. 湖泊科学,2008,20(2):153-159.

[3] 黄昌春,李云梅,王 桥,等. 太湖水体悬浮颗粒物生物光学模型及 MERIS 数据反演[J]. 红外与毫米波学报,2012,31(4):367-374.

[4] 高中灵,汪小钦,陈云芝. MERIS 遥感数据特性及应用[J]. 海洋技术,2006,25(3):61-65.

[5] 宋 瑜,宋晓东,郭照冰,等. 利用 MERIS 产品数据反演太湖叶绿素 a 浓度研究[J]. 遥感信息,2009(4):19-24.

[6] 宋 瑜,宋晓东,江 洪. 太湖藻类的遥感监测研究[J]. 遥感信息,2008(4):102-108.

[7] Schroeder T, Schaale M, Fischer J. Retrieval of atmospheric and oceanic properties from MERIS measurements;a new Case-2 water processor for BEAM[J]. International Journal of Remote Sensing,2007,28(4):5627-5632.

[8] 赵冬至,张丰收,杜 飞,等. 不同藻类水体太阳激发的叶绿素荧光峰(SICF)特性研究[J]. 遥感学报,2005,9(3):265-270.

[9] 邢小罡,赵冬至,刘玉光,等. 叶绿素 a 荧光遥感研究进展[J]. 遥感学报,2007,11(1):137-144.

[10] 栾 颖. MATLAB R2013a 工程分析与仿真[M]. 北京:清华大学出版社,2014.

[11] 马荣华,戴锦芳. 应用实测光谱估测太湖梅梁湾附近水体叶绿素浓度[J]. 遥感学报,2005,9(1):78-86.

[12] 太湖流域水资源保护局. 太湖流域及东南诸河省界水体水资源质量状况通报[N]. 经济日报,2007-02-09.

[13] Thiemann S, Kaufmann H. Determination of chlorophyll content and trophic state of lakes using field Spectrometer and IRS-1C satellite data in the Mecklenburg Lake District[J]. Remote Sensing of Environment,2000,73:227-235.

[14] Koponen S, Ruiz-Verdu A. Development of MERIS lake water algorithms[R]. [s. l.]:[s. n.],2008.

[15] Lyu H, Li X, Wang Y, et al. Evaluation of chlorophyll retrieval algorithms based on MERIS bands for optically varying eutrophic inland lakes[J]. Science of the Total Environment, 2015,530-531:373-382.

(上接第 191 页)

2013:290-294.

[7] Harold S, Vijayalakshmi A. Enhanced power control MAC protocol for wireless ad hoc networks[C]//Proceedings of the ICCSP. [s. l.]:[s. n.],2012:6-11.

[8] Vejarano G, Wang Dexiang, Dubey R, et al. Distributed throughput maximization in wireless networks using the stability region[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems,2014,25(7):1713-1723.

[9] 董荣胜,马争先,郭云川,等. 一种基于马尔可夫博弈的能量均衡路由算法[J]. 计算机学报,2013,36(7):1500-1508.

[10] 刘新华,李方敏,方艺霖,等. 一种基于链路级功率控制的

分簇路由算法[J]. 计算机科学,2012,39(9):64-70.

[11] Azad A K M, Kamruzzaman J. Energy balanced transmission policies for wireless sensor networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing,2011,10(7):927-940.

[12] 刘 韬,李天瑞,谈文蓉,等. 基于分布式与联合优化的无线传感器网络数据汇聚机制[J]. 通信学报,2015,36(7):18-30.

[13] 牛建军,邓志东,李 超. 无线传感器网络分布式调度方法研究[J]. 自动化学报,2011,37(5):517-528.

[14] 沈 奔,秦 军,万 丽. 无线 Ad Hoc 网络中 AODV 路由算法的研究与改进[J]. 计算机技术与发展,2011,21(3):150-153.