

基于智能家居传感器网络的树状结构优化设计

针对智能家居中的传感器在传统树状结构中存在的传感器节点，在动态网络中的能耗高、自适应性有待提升和数据交互时的冗余问题，提出一种对树状结构优化的方法——演化博弈方法，并借助于Matlab仿真，验证了优化设计后的结构能降低节点的冗余性，增强数据传送的效率。

王伟^{1, 2} 王东林^{1, 2}/1.天津市建筑设计院 2.天津市建筑设计院智慧建筑设计与运营维护管控一体化工程技术中心

0 引言

智能家居的传感器已在家庭的健康管理、能量监测和安全防护等方面广泛应用，伴随着应用场景越来越灵活多样，依靠传统定点布置电气插座给家居传感器供电方式带来诸多不便，智能家居传感器采用电池供电将成为趋势。目前智能家居功耗较高、须频繁充电，大多研发者通过选配高质量硬件，或降低监听频率来实现降低功耗作用。其实，据相关调查发现，智能家居的传感器网络节点间数据传输能耗约占整体能耗的80%^[1]。通过优化传感器网络结构，可实现降低节点间的通信能耗，达到节省成本目的。此外，智能家居在家庭的各个位置部署了大量的传感器节点，需要具有很强的自组织功能，凭借该功能去感知、采集和处理家庭环境中的信息，并发送给观察者。现阶段，大多使用者对智能家居的心态为“尝鲜”，对通信的稳定性与数据交互的冗余性能要求不

高，但是随着智能家居的普及，使用者要求会更加精细化，上述问题会更加凸显。通过优化底层的传感器网络结构，能有效解决自适应动态网络效果不佳、通信不稳定或数据交互有冗余的状况。

本文提出演化博弈的方法对智能家居的传感器树状拓扑结构进行了优化，在寻求最优的发射距离的同时，增强网络拓扑的自适应性和鲁棒性，提高传感器节点采集数据信息的高效性，并为上一层次的通信协议提供优质的拓扑支撑，最终实现降低数据传送冗余，延长整个网络生命周期。本文通过分析传统树状拓扑结构的特点，提出一种演化博弈方式拓扑结构，经过仿真验证表明了通过对传输距离控制能有效地优化网络拓扑结构，减少了功耗以及减低冗余度，增强动态自适应性。

1 演化博弈改进树状拓扑结构的原理

在树状拓扑结构中，传感器节点是以星状结构的方式直接向基站广播通信。基站收到请求信号如果足够强可以通信，这个节点将被作为第一层节点，这就意味着所有和基站直接连接的节点被定义为第一层节点。另一方面，可以为其他相邻的节点充当路由器的角色。而在网络中由于拥有较低的信号强度，以及受到干扰便不能同基站直接交互数据的传感器节点称之为第二层节点或终端节点。第二层节点试图向所有的邻居节点再次广播，以检测可交互的双亲节点



王伟/助理工程师

关键词/Keywords

智能家居·
传感器网络·
树状结构·
演化博弈·

天津市建委科技项目（2014-20），天津市重点研发技术科技支撑重点项目（17YFZCSF01280），住房和城乡建设部科学技术项目（K82017150），天津市建委科技项目（2016-24）。

或路由。终端节点能和多个双亲节点通信，当其中一个节点被破坏时，网络传输不会中断，网络会围绕现存的网状节点重新配置。

2 演化博弈算法的引入

2.1 演化博弈

博弈论是研究博弈过程中的参与者谋略与决策相关问题的理论。参与者数量至少大于2，且所有参与者均可通过一系列的策略来实现自身的利益。因为参与者间存在利益，所以所作的策略将直接影响到他人。博弈论就是要研究参与者如何根据非自身环境，高效地通过选择策略来实现自己所在群体的最大化利益。博弈论的几个基本元素如下：参与者、策略、策略组合、收益和信息。演化博弈是博弈理论新生的理论，它根据以往经验进而思考自身行为，并通过学习来模仿别人，从而实现当前的策略筛选。演化博弈论基于参与成员的理性是有限的，个体行为主要受遗传的非理性因素决定。在该理论中，所有参与者以整体形式成为被研究的对象。而实际的参与者需要调整自身策略，从而实现整体参与者处于相对的稳态。此稳态称之为博弈中的均衡点，实现稳态的策略组合称之为演化稳定策略（ESS）^[5-8]。即使参与者在调整策略中出现少量突变，但依旧会在最后恢复到原来的稳态。

演化博弈理论中，一般借助收益矩阵的形式来简便地展示博弈过程，而且能较为直观地对比分析不同策略组合下产生的收益情况。一般地，演化有两个方面：其一是展示最终的演化博弈的结果状态，即演化稳定策略；其二是动态方式展示演化博弈的方法及个体变化过程，即选择动态。演化博弈理论中有许多动态演化方法，目前使用最多的模型是复制子动态。

2.2 对改进拓扑结构的算法描述

传感器的节点间的信息加护有限理性就已经决定参与者无法在最初就找到最佳的策略，而是在博弈中通过不断试错与学习的过程找到最佳策略。在此过程中即便成为了均衡点也会出现再偏

离情况。这种理论的核心并非某个参与者的最佳策略，而是整合所有参与者与一体的群组策略的改善与调整和稳定过程。其中稳定状态是指种群组的参与者依靠所占比例保持一致的特定的策略组合，而非单个参与者的保持一致的策略。

对节点之间的通信距离设定阈值 σ ，根据采集数据的情况，分析数据的冗余度。采用下表的收益矩阵进行演化博弈，若双方采集数据对比后都没有超过阈值 σ ，则双方获得较大收益为 R ；双方采集数据对比都超过阈值 σ ，则双方获得较小收益为 P 。若一方正常采集数据没有超过阈值，而一方节点数据采集超过阈值，则正常节点获得收益 T ，而非正常节点获得收益为 M ，则参数满足 $2R > T + M$ 。

表 节点之间的博弈支付矩阵

		传感器节点	
		不超阈值	超阈值
传感器节点	不超阈值	(R, R)	(M, T)
	超阈值	(T, M)	(P, P)

在传感器网络中，假定传感器没有超过阈值的情况用 S_1 来表示，出现 S_1 的节点个数比例为 $\theta(t)$ ；超过阈值的情况用 S_2 来表示，出现 S_2 的节点个数比例为 $1 - \theta(t)$ 。以下简记 $\theta(t)$ 为 θ ，则在 t 时刻， S_1 情况下节点的期望收益为

$$\mu[S_1, \theta(t)] = \theta R + (1 - \theta)M \quad (1)$$

S_2 情况下节点的期望收益为

$$\mu[S_2, \theta(t)] = \theta T + (1 - \theta)P \quad (2)$$

则整个网络的平均收益为

$$\bar{\mu}[\theta(t), \theta(t)] = \theta \mu[S_1, \theta(t)] + (1 - \theta) \mu[S_2, \theta(t)] \quad (3)$$

所以，得到了节点不同情况下的演化动力学复制动态方程为

$$\begin{aligned} F(\theta) &= \dot{\theta} = \theta \{ \mu[S_1, \theta(t)] - \bar{\mu}[\theta(t), \theta(t)] \} \\ &= \theta(1 - \theta)(\theta R + M - \theta M - \theta T - P - \theta P) \end{aligned} \quad (4)$$

令 $F(\theta) = 0$ ，则复制动态方程中的稳定状态最大数量为3个，即

$$\theta_1^* = 0 \quad (5)$$

$$\theta_2^* = 1 \quad (6)$$

$$\theta_3^* = \frac{P - M}{R - M - T - P} \quad (7)$$

3 仿真与验证

利用Matlab软件进行复制子动态模型仿真，设定主要参数： $R=3$ ； $T=a$ ($1 < a < 2$)； $P=0.5$ ； $M=0$ ；取 $a=1$ ，则 $\theta_3^*=0.5$ 。根据复制动态方程(4)，阈值范围内的节点比例取不同初值下的响应曲线。仿真结果如图1所示。

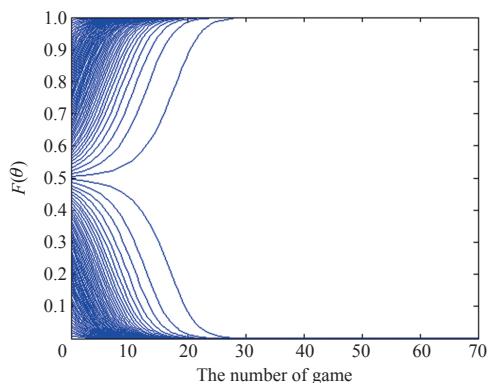


图1 演化博弈动态响应曲线

根据仿真图可以看出当选择参与的节点策略组合比例在0.5处稳定。即对传感器节点与路由之间的通信距离的阈值而言，传感器节点通过试错和调整自身的策略组合，最优决策是0.5比例的通信距离不超过阈值。进而模拟分析传统树状结构与优化后的树状结构单传感器能耗。

图2为60 min节点数据采集过程中传感器节点、路由节点功耗情况。本系统的稳定性并非某个参与者的策略保持不变，而是指该种群的参与者所采用的策略组合对应比例不变，而非某个博弈方的策略不变。图中A、B分别为传统树状结构的传感器节点、路由节点功耗，C、D分别为博弈演化法优化后的传感器节点、路由节点功耗。由图可知，A、C为一级节点相当于路由，所以二者相差无几，D的功耗明显低于B。综上所述博弈论拓扑结构的功耗有明显优势。

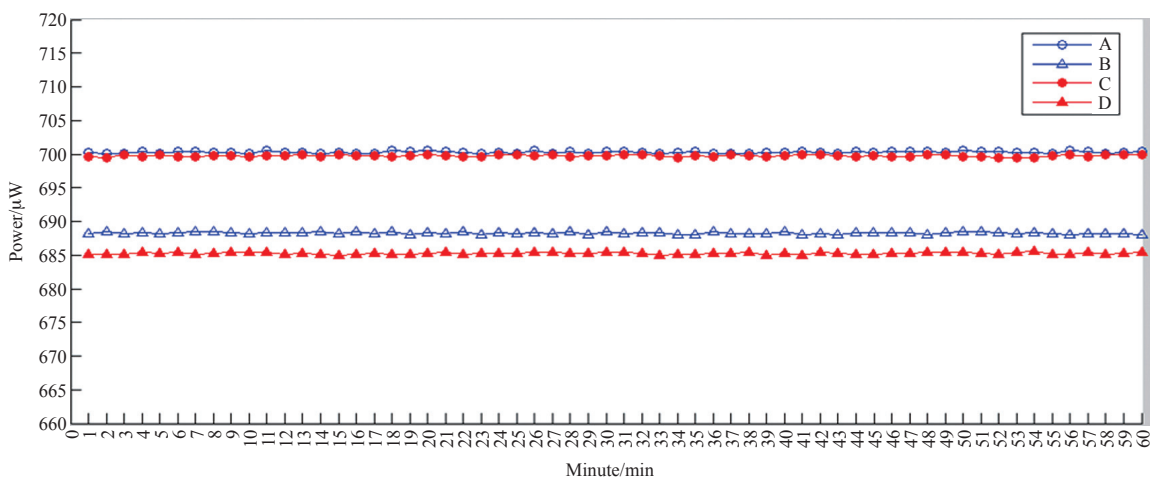


图2 功耗对比图

4 结束语

智能家居依托于大量的家庭内部传感器节点并组成网络传感器，通过采集和处理末端数据，实现了感知、采集和处理家庭环境中的信息，以及家庭环境和人员健康护理等方面的保护。传感器网络在智能家居发展中起着举足轻重的作用。树状拓扑结构借助于众多小型传感器，以自组织方式构成了具有分布式的网络系统，实现了实时实地的采集、处理和分析信息。

本文通过对传统的传感器网络拓扑结构进

行优劣分析，提出演化博弈论方式对树状拓扑结构的拓扑优化。通过寻找节点间的通信距离的优化，给出阈值内的最优节点比例并求解方程，降低冗余度。最后，通过Matlab仿真验证了通过对传输距离控制，即阈值内的最优节点比例为0.5时，复制动态方程较为稳定，演化博弈能有效地优化网络拓扑结构，降低冗余，减少功耗。

参考文献

[1] 匡哲君. 无线传感器网络节能策略的研究 [D]. 长

- 春：吉林大学，2014.
- [2] 王丽侠，张湃．基于物联网的智能家居系统的研发[J]．电气应用，2015，34(14)：26-29.
- [3] 朱达荣，欧剑，闵杰．无线传感器网络测距定位算法改进与分析[J]．安徽大学学报：自然科学版，2011，35(5)：52-57.
- [4] 姜文刚，蔡蓝图．智能家居无线传感器网络的研究[J]．江苏科技大学学报：自然科学版，2010，24(2)：169-173.

- [5] 王丁．基于演化博弈的无线传感器网络节点协作机制研究[D]．上海：东华大学，2016.
- [6] 沈士根．基于博弈论的无线传感器网络安全若干关键问题研究[D]．上海：东华大学，2013.
- [7] 乔成．基于博弈论的传感器网络的优化与设计[D]．福州：福建师范大学，2013.
- [8] 李紫川．基于演化博弈的WSNs节点信任机制的研究与仿真[D]．上海：东华大学，2014.

(收稿日期：2018-03-20) **EA**

(上接第19页)

5 结束语

随着直流电源、直流负荷和储能设施在配电网中的比重不断增大，交直流混合配电技术取得了快速发展，并在一些典型场景中体现出更大的技术优势。交直流配电网的设计需要综合考虑用户需求、负荷分布、设备水平和建设条件等多方面因素，选择合理的电压等级和网架结构，并通过对设备设施的选择与配置实现用户接入、电能输出和系统互供等功能，满足系统灵活多变的运行要求。针对交直流配电网的特点采用模块化的工程设计，可以充分发挥模块组合的灵活性与便捷性，避免个性化设计带来的困难，提高设计成果的规范性和标准化水平，推动交直流配电技术的推广应用，同时也为多元化发用电设施的接入创造便利条件。

参考文献

- [1] 江道灼，郑欢．直流配电网研究现状与展望[J]．电力系统自动化，2012，36(8)：98-104.
- [2] 王丹，毛承雄，陆继明，等．直流配电系统技术分析与设计构想[J]．电力系统自动化，2013，37(8)：82-88.
- [3] 郑欢，江道灼，杜翼．交流配电网与直流配电网的经济性比较[J]．电网技术，2013，37(12)：3368-3374.
- [4] 雍静，徐欣，曾礼强，等．低压直流供电系统研究综述[J]．中国电机工程学报，2013，33(7)：42-52.

- [5] 张祖平．直流配电技术的发展前景[J]．供用电，2014，31(7)：16-19.
- [6] 王丹，柳依然，梁翔，等．直流配电网电压等级序列研究[J]．电力系统自动化，2015，39(9)：19-25.
- [7] 范明天，惠慧．国外直流配电系统的理论分析方法与应用实践[J]．供用电，2014，31(7)：36-43.
- [8] Huang A Q, Crow M L, Heydt G T, et al. The future renewable electric energy delivery and management (FREEDM) system: the energy internet[J]．Proceedings of the IEEE, 2011, 99(1)：133-148.
- [9] Baran M E, Mahajan N R. DC distribution for industrial systems: opportunities and challenges[J]．IEEE Transactions on Industry Applications, 2003, 39(6)：1596-1601.
- [10] 孙国萌，齐琛，韩蓓，等．交直流混合配电网规划运行关键技术研究[J]．供用电，2016，33(8)：7-16.
- [11] 李红军，姜世公，王云飞，等．柔性直流配电网电压等级选择与数据中心工程设计实践[J]．电力建设，2016，37(5)：138-145.
- [12] 姜世公，吴志力，李红军，等．直流配电电压等级及负荷距分析[J]．电力建设，2017，38(6)：59-65.
- [13] 盛万兴，李蕊，李跃，等．直流配电电压等级序列与典型网络架构初探[J]．中国电机工程学报，2016，36(13)：3391-3403.

(收稿日期：2018-02-12) **EA**