

移动无线传感器网络中带有重叠分簇检测的节能路由策略研究

邹洪森¹, 刘志远¹, 王 峥², 陈 枫²

(1 国网宁夏电力公司检修公司, 宁夏 银川 750011;

2 北京智芯微电子科技有限公司, 北京 100192)

摘 要: 高效的路由策略可有效提升移动无线传感器网络的性能. 传统的分簇路由策略忽略了网络的重叠分簇结构特征, 使得其对网络性能的提升有限. 对此提出了重叠分簇检测方法, 准确检测网络中的重叠分簇节点, 进而设计了高效、节点的路由策略, 充分利用重叠分簇节点进行路由转发. 结果表明, 相比传统的分簇路由, 所提机制有效提升了数据的投递率与网络寿命性能.

关键词: 移动无线传感器网络; 路由策略; 重叠分簇

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000—7180(2017)09—0103—04

Energy-saving Routing Strategy with Overlapping Cluster Detection Method in Mobile Wireless Sensor Networks

ZOU Hong-sen¹, LIU Zhi-yuan¹, WANG Zheng², CHEN Feng²

(1 State Grid Ningxia Electric Power Company Maintenance Company, Yinchuan 750011, China;

2 Beijing Smartchip Microelectronics Technology Company Limited, Beijing 100192, China)

Abstract: Efficient routing strategy can effectively improve the performance of mobile wireless sensor networks (MWSN). Traditional clustering routing mechanisms ignore the overlapping cluster structure characteristic of the network, which lead to their poor network performances. An overlapping cluster detection method is proposed to accurately detect overlapping cluster nodes in the network. Moreover, an efficient and energy-saving routing strategy is designed by fully exploiting the advantage of overlapping cluster nodes. Simulation results show that compared with traditional clustered routing mechanisms, the proposed strategy obviously enhances the data delivery rate and network lifetime performance.

Key words: MWSN; routing strategy; overlapping cluster

1 引言

随着微机电系统与无线通信技术的进步, 基于微型无线智能传感器构建的移动无线传感器网络引起了学术界与工业界的广泛关注. MWSN 不依赖于基础设施, 以自组织的方式构建通信网络将物理世界的信息映射入信息空间中, 在海洋生物习性监测、野生动物追踪、自然灾害救援、战场态势感知等领域得到了广泛应用. 然而, MWSN 具有节点移动频繁、间歇性连接^[1]、无线链路带宽及节点能量受限^[2]等特征, 为 MWSN 中高效、节能的路由策略设计带来

了巨大的挑战.

为此, 研究人员提出了多种路由策略来提高 MWSN 中数据传输的效率. 文献[3]提出一种基于转发树的路由机制, 该机制需根据网络实际拓扑动态调整转发树结构, 适用于部分动态性较弱的 MWSN 应用场景, 对于动态性较强的应用场景适用性较差.

文献[4]中指出在实际的 MWSN 应用中, 节点受其地理位置、社会属性、兴趣爱好等因素影响, 使得 MWSN 具有明显的簇状结构, 因此, 对网络的簇状结构进行准确感知可有效提高路由策略的效率.

基于上述研究,文献[5]提出了一种有效的基于分簇的路由策略—EECRP,将感知区域划分为若干网格状的分簇,并选择能量资源丰富、通信距离较远的节点为簇头节点,分簇间的路由路径采用最小化节点能耗的方法来进行选择,以提高路由效率并延长网络寿命.文献[6]提出一种基于 sink 节点中心性的分簇路由策略—SC,通过挖掘传感器节点与 sink 节点间的直接与间接社会联系估计 sink 节点的中心性,并结合传感器节点的能量等级,预测传感器节点转发数据的效用值,进而依据计算的效用值进行路由的决策.

文献[7]中指出,在无基础设施支持的对等自组织网络中,由于节点受到地理位置、社会属性、兴趣偏好等多重因素影响,节点可归属于多个分簇,即网络中产生重叠分簇.重叠分簇节点对于网络的数据通信具有极为重要的作用.然而,现有的对于重叠分簇的研究仅限于复杂网络及传统的静态无线传感器网络中,针对 MWSN 中重叠分簇检测的研究成果极为匮乏.

MWSN 是 WSN^[8]的一种特殊网络形态,兼具复杂网络的典型特征.本文提出了适用于 MWSN 的带有重叠分簇检测的节能路由策略(Energy-saving Routing strategy with Overlapping Cluster Detection Method, EROCDM),以分布式的方式准确检测 MWSN 中的重叠分簇节点,并设计了高效、节点的路由策略,充分利用重叠分簇节点的特性进行路由决策,以改善 MWSN 中传统分簇路由的效率,进一步节约路由过程中的能耗.

2 重叠分簇检测方法

传统的分簇检测方法中每个节点只能归属于一个分簇,不符合 MWSN 应用场景重叠分簇的实际情况.重叠分簇节点对于 MWSN 具有极为重要的作用,本文提出了重叠分簇的检测方法,首先感知 MWSN 网络的初始分簇,进而,检测出重叠分簇节点.

2.1 初始分簇感知

研究表明,MWSN 网络具有典型的“小世界”的特点,MWSN 中的节点受地理位置、社会偏好、兴趣点等因素的影响,具有相似属性的节点连接较为紧密,使得网络中形成若干个簇状结构.分簇以连接度较高的节点为中心,分簇成员围绕连接度较高节点即中心节点紧密地聚合.因此,在对网络中的初始分簇进行检测时需首先确定分簇的中心节点.

定义 1 相遇列表 Cl_i . 存储与节点 i 相遇的节点信息,包括相遇节点 j 的 id 号及相遇次数 $\|Cl_i(j)\|$.

节点在每次相遇后更新其相遇列表中的信息,相遇节点间通过比较各自相遇列表中的表项数量,并记录比自身表项数量多的节点 id. 在网络运行稳定后,节点通过本地记录的相遇列表信息,即可获得网络中相遇列表表项最多的前 k 个节点,即为初始分簇的中心节点.中心节点选取方法如下:

$$\mathbb{C}_c = \{\mathbb{C}_c^j = \max_k \{\|Cl_i\|\}, i \in \varphi, j = 1, \dots, k\} \quad (1)$$

式中, $\mathbb{C}_c$ 为网络中分簇中心节点的集合, $\mathbb{C}_c^j$ 为第 j 个分簇的中心节点, $\|Cl_i\|$ 为节点 i 相遇列表中的表项数量, φ 为全网节点集合.

中心节点选取后,根据其记录的相遇列表中的相遇信息,即可检测出从属其分簇的节点,并向其分簇从属节点广播其分簇编号,以构成网络的初始分簇.检测方法如下:

$$\mathbb{C}(Cl_x(y)) = \mathbb{C}_c^x(\|Cl_x(y)\| - \bar{\gamma}) \quad (2)$$

$$\varepsilon(t) = \begin{cases} 1, & t > 0 \\ 0, & t \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\bar{\gamma} = \frac{\sum_{z \in \mathbb{C}_x} \|Cl_x(z)\|}{\|Cl_x\|} \quad (4)$$

式中, $\mathbb{C}(Cl_x(y))$ 为与中心节点 x 相遇的节点 y 的分簇标识, $\varepsilon(t)$ 为阶跃函数, $\bar{\gamma}$ 为分簇的判别阈值,为中心节点 x 与其他节点相遇次数的均值.

2.2 重叠分簇检测

在真实的 MWSN 部署环境中,受多维因素的影响,节点极有可能参与到多个分簇结构中,即节点从属于多个分簇,导致重叠分簇结构的产生.然而重叠分簇节点相对于每个分簇的归属程度各异,即分簇偏向性有所差异,需进行准确地感知.

如前所述,在中心节点进行分簇编号广播后,少数与多个分簇中心节点都有较为紧密联系的节点将收到多个分簇编号.

定义 2 重叠分簇列表 OC_α . 为重叠分簇内节点 α 收到的中心节点广播的分簇编号集合, $OC_\alpha = \{\mathbb{C}_c^i, \dots, \mathbb{C}_c^n\}$, n 为收到的分簇编号数量.

定义 3 重叠分簇偏向性 $OC P_\alpha$. 定义了重叠分簇节点 α 与其重叠分簇列表中每个分簇的联系紧密程度,其计算方式如下:

$$OC P_\alpha^j = e^{(\|Cl_\alpha^j\| - \bar{\gamma})}, j \in \mathbb{C}_c \quad (5)$$

式中, $OC P_a^j$ 为重叠分簇节点 α 相对于分簇 C_c^j 的偏向性, $\|C_c(j)\|$ 为重叠分簇节点 α 与中心节点 j 的相遇次数. 由此,重叠分簇节点可在本地感知其相对每个分簇的偏向程度.

3 EROCDM 节能路由策略

MWSN 网络中的分簇具有簇内连接较多簇间连接较少的特点. 而少数重叠分簇节点则由于与多个分簇的中心节点联系都较为紧密,可充当簇间通信的桥梁,对 MWSN 网络中的簇间数据传输具有非常重要的作用. 因此在进行路由策略设计时,充分利用重叠分簇节点进行簇间数据的传输可有效提高数据传输的效率,降低数据传输过程中的能耗. 然而,重叠分簇节点自身能量也受限,在进行路由转发时应充分考虑节点的自身能量因素.

定义 4 重叠分簇转发表 OCF_a . 定义了重叠分簇节点 α 可提供数据转发服务的分簇列表,其构建方法如下:

$$OCF_a = \delta(e) \max_l \{OC P_a^j, j \in C_c\} \quad (6)$$

式中, $\delta(e)$ 为示性函数, e 为 α 当前的能量水平, $\delta(e) = 0, e < 0, \delta(e) = 1, e \geq 0, l$ 定义了转发列表的最大长度.

- 所提 EROCDM 路由策略流程如下:
- (1)在进行数据传输时,如相遇节点为数据的目标节点,则直接进行数据的投递;
 - (2)若相遇节点为非数据的目标节点,且目标节点为簇内节点时,源节点将数据转发给分簇的中心节点,由中心节点进行数据的投递;
 - (3)若相遇节点为非数据的目标节点,且目标节点为簇外节点时,源节点将携带数据直至与重叠分簇节点相遇;
 - (4)若相遇节点为重叠分簇节点,且目标节点所在分簇位于重叠分簇节点的重叠分簇转发表中时,源节点将数据转发至重叠分簇节点;
 - (5)重叠分簇节点携带数据直至与目标节点相遇,或者与目标节点所在分簇的中心节点相遇,由分簇中心节点将数据投递至目标节点.

EROCDM 算法伪代码如下:

```
while node i meet node j
    if node j is destnode
        node i deliver to node j;
        break;
    else
        if destnode in samecluster
            node i deliver to Cc node;
```

```
        Cc node deliver to destnode;
        break;
    else if destnode in diffcluster
        node i hold;
        while node i meet OC node
            if destnode's cluster in OCF
                node i deliver to OC node;
                OC node hold;
            if OC node meet destnode
                OC node deliver to destnode;
                break;
            else if OC node meet Cc node
                Cc node deliver to destnode;
                break;
        end
    end
end
```

4 仿真实验

本文采用 ONE^[9] 仿真平台,将所提 EROCDM 方法与 MWSN 中典型的 EECRP、SC 路由策略进行性能对比,主要性能指标包括:数据投递率、网络寿命. 仿真参数设置如表 1 所示.

表 1 仿真参数设置	
参数名	数值
仿真区域/(m×m)	4 500×3 400
节点运动模型	分簇模型
分簇个数	4
预热时间/s	1 000
节点数量/个	100~200
节点通信方式	Bluetooth
节点缓存空间/MB	20
节点速度/(m/s)	6~20
传输范围/m	10
数据大小/kB	150
数据产生间隔/s	25~35
初始能量/J	10
数据传输能耗/(μJ/bit)	5

4.1 节点数量变化对网络性能的影响

本部分主要验证节点数量变化对 MWSN 网络性能的影响,仿真结果如下.

如图 1、2 所示,随着节点数量增多,EROCDM、EECRP、SC 三种路由策略的数据投递率都呈现稳步上升趋势,而网络的寿命则逐渐下降. 这是由于随着节点数量增多,节点间的相遇次数增多,数据转发的次数也增多了,同时网络中数据传输的能耗也有所增加. 相比 EECRP 与 SC,EROCDM 在数据投递率性能方面,分别提升了约 30.6%、13.7%;在网络

寿命方面则分别提升了 56.1%、26.3%。这是因为 EROCDM 可准确检测重叠分簇节点,并利用重叠分簇节点进行路由转发,而 EECRP 与 SC 都未提出重叠分簇检测的方法。

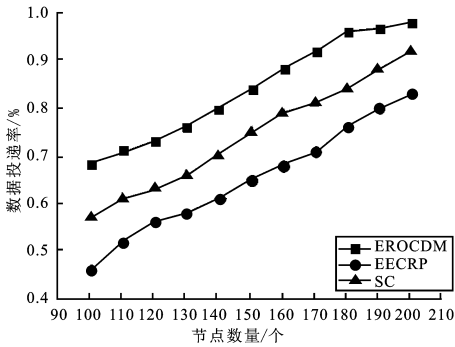


图 1 节点数量对数据投递率的影响

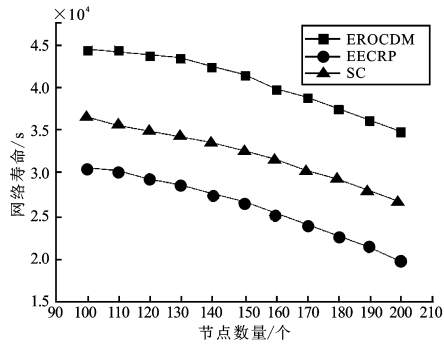


图 2 节点数量对网络寿命的影响

4.2 节点速度变化对网络性能的影响

本节验证了节点速度变化对 MWSN 网络性能的影响,结果如下。

如图 3、4 所示,EROC DM、EECRP、SC 的数据投递率随节点移动速度加快而稳步上升,而网络的寿命则逐渐减少。节点移动速度的加快使节点间相遇概率增大,从而提高了数据被成功投递的概率。同时,也造成网络中数据传输能耗增大。对比 EECRP 与 SC,EROC DM 在数据投递率方面,分别提升了约 24.2%、11.6%;在网络寿命方面则分别提升了 46.4%、19.1%。这是因为 EROCDM 设计了重叠分簇检测方法,并据此指导路由决策过程,而 EECRP 与 SC 都未考虑重叠分簇因素。

5 结束语

MWSN 中路由策略的设计对于网络性能的影响至关重要。现有的分簇路由策略假定节点仅从属于单一分簇,然而,MWSN 中的节点受多维因素影响,使得 MWSN 网络呈现出重叠分簇的结构形态。因此,本

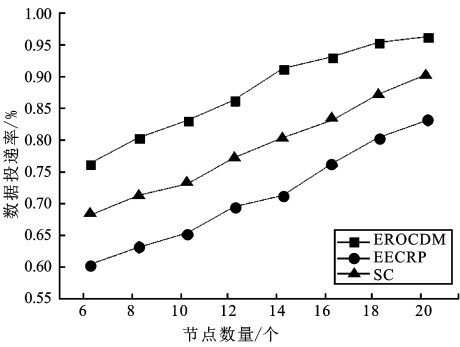


图 3 节点速度对数据投递率的影响

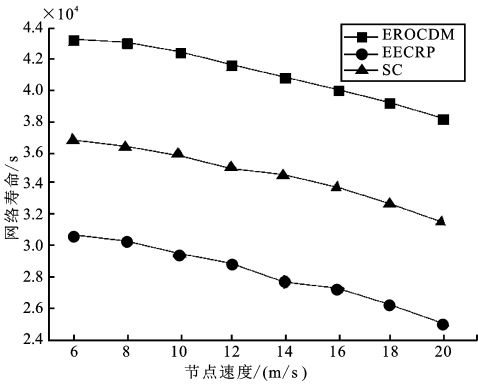


图 4 节点速度对网络寿命的影响

文提出了带有重叠分簇检测的节能路由策略,准确检测网络中的重叠分簇节点,从而指导路由决策过程。仿真结果表明,相比现有的典型分簇路由机制,所提策略可大幅改善数据投递率及网络寿命性能。

参考文献:

[1] Wu Dapeng, Zhang Hongpei, Wang Honggang, et al. Quality of protection (QOP) - driven data forwarding for intermittently connected wireless networks [J]. IEEE Wireless Communications, 2015, 22(4): 66-73.

[2] Wu Dapeng, He Jing, Wang Honggang, et al. A hierarchical packet forwarding mechanism for energy harvesting wireless sensor networks [J]. IEEE Communication Magazine, 2015, 53(8): 92-98.

[3] Mrityunjay S, Monika S. A tree based routing protocol for mobile sensor networks (MSNs) [J]. International Journal on Computer Science and Engineering, 2010, 2(suppl1): 55-60.

[4] Ismat N, Qureshi R. Efficient clustering for mobile wireless sensor networks [C]// IEEE 17th International Multi-Topic Conference (INMIC). IEEE, 2014: 110-114.

表 2 给出了本文电路与同类设计的比较. 由比较结果可以看出,本文电路在保证抖动性能的前提下,在功耗及面积等指标上具有更好的表现,更适合作为 IP 核电路.

表 2 本文电路与同类设计的比较

文献	功耗/ mW	周期抖动/ (rms ps)	芯片面积/ mm ²	工艺
[7]	≈51.6	0.57	0.12	65 nm CMOS
本文	≈3.8	0.656	0.07	65 nm CMOS

7 结束语

本文提出了一种基于二阶 Delta-sigma 调制技术的时钟发生器解决方案,采用加抖技术以及 DAC 补偿技术大幅度地抑制了量化噪声. 仿真结果显示,当系统输出频率为典型应用值 1.2 GHz 时,周期抖动的峰峰值为 4.944 ps,均方根值为 0.656 ps,系统功耗约为 3.8 mW,所有指标均与整数模式可比拟.

参考文献:

[1] Galton I. Delta-sigma fractional-N phase-locked loops[C]// Phase-locking in high- performance systems: from devices to architecture. New York: Wiley, 2003.

[5] Sara G, Kalaiarasi R, Neelavathy P, et al. Energy efficient clustering and routing in mobile wireless sensor network [J]. International Journal of Wireless & Mobile Networks, 2010, 2(4): 106-114.

[6] Zhang Puning, Liu Yuan-an, Wu Fan, et al. A data delivery scheme based on sink centrality for delay tolerant mobile sensor networks [C]//International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery. IEEE, 2014: 217-222.

[7] Wang Ruyan, Yang Huiping, Wang Honggang, et al. Social overlapping community-aware neighbor discovery for d2d communications [J]. IEEE Wireless Communications, 2016, 23(4): 28-34.

[8] 俸皓, 罗蕾, 王勇, 等. 基于萤火虫算法的无线传感器网络移动 sink 节点路径规划方法 [J]. 微电子学与

[2] 胡帅帅, 周玉梅, 张锋. 10GHz 扩频时钟发生器的设计[J]. 微电子学与计算机, 2016, 33(10):63-67.

[3] Riley T, Copeland M A, Kwasniewsk Ti. Delta-sigma modulation in fractional-N frequency synthesis [J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 1993, 28 (5): 553-559.

[4] Pamarti S, Jansson L, Galton I. A wideband 2.4 GHz Delta-sigma fractional-N PLL with 1 Mb/s in-loop modulation [J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2004, 39(1): 49-62.

[5] Hosseini K, Kennedy M P. Minimizing spurious tones in digital delta-sigma modulators [M]. New York: Springer, 2011.

[6] Razavi B. RF microelectronics [M]. 2nd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2012.

[7] Sai A, Yamaji T, Itakura T. A 570fs rms, integrated-jitter ring-VCO-based 1.21GHz PLL with hybrid loop [C]// Solid-State Circuits Conference Digest of Technical Papers. IEEE, 2011:98-100.

作者简介:

高 辉 男, (1988-), 硕士研究生. 研究方向为锁相环电路设计. E-mail: 715450973@qq. com.

刘文平 男, (1957-), 研究员, 硕士生导师. 研究方向为宇航级模拟集成电路设计.

(上接第 106 页)

[5] Sara G, Kalaiarasi R, Neelavathy P, et al. Energy efficient clustering and routing in mobile wireless sensor network [J]. International Journal of Wireless & Mobile Networks, 2010, 2(4): 106-114.

[6] Zhang Puning, Liu Yuan-an, Wu Fan, et al. A data delivery scheme based on sink centrality for delay tolerant mobile sensor networks [C]//International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery. IEEE, 2014: 217-222.

[7] Wang Ruyan, Yang Huiping, Wang Honggang, et al. Social overlapping community-aware neighbor discovery for d2d communications [J]. IEEE Wireless Communications, 2016, 23(4): 28-34.

[8] 俸皓, 罗蕾, 王勇, 等. 基于萤火虫算法的无线传感器网络移动 sink 节点路径规划方法 [J]. 微电子学与

计算机. 2016, 33(5): 47-51.

[9] Keränen A, Ott J, Kärkkäinen T. The ONE simulator for DTN protocol evaluation[C]// The 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques. Rome:IEEE, 2009: 1-10.

作者简介:

邹洪森 男, (1982-), 工程师. 研究方向为智能电网. E-mail: zouhspaper@163. com.

刘志远 男, (1970-), 高级工程师. 研究方向为继电保护技术.

王 峰 男, (1983-), 工程师. 研究方向为物联网与传感器技术.

陈 枫 男, (1984-), 工程师. 研究方向为测控技术.