

电力传感器网络失调节点定位方法

传统的电力失调节点定位控制随着迭代次数的增加,定位准确度下降。提出基于数据融合滤波预处理的电力传感器网络失调节点定位算法。进行电力网络失调节点定位测度信息模型构建,设计无线传感器数据融合滤波结构模型,计算电力传感器网络覆盖子载波区间正交性偏转相量,得到电力传感器网络节点数据融合与滤波调制结果,使用时间更新一误差更新方程来预测下一节点定位误差,通过误差最小化迭代实现定位自动控制算法改进。仿真实验结果表明,该算法定位时间较快,优化网络部署。

周澄 许胜/泰州学院船舶与机电工程学院



周澄/讲师

关键词/Keywords

电力传感器网络·
节点定位·
数据融合·

IEEE 802.11 Working Group专门成立了网络研究组(Mesh Study Group),提出了一种新型的宽带无线传感器网络结构无线网络网(WSN),WSN是移动Ad Hoc网络的一种特殊形态,早期研究均源于移动Ad Hoc网络的研究与开发。随着人们对网络通信服务质量的提高,WSN被写入了IEEE 802.16无线城域网(Wireless Municipal Area Network, WMAN)标准中。WSN是一种高容量高速率的分布式网络,不同于传统的无线网络,WSN网络节点准确定位有利于改善电力传感器网络结构,实现对外目标的准确定位和追踪,提高电力网络的QoS服务质量。研究电力传感器网络的失调节点定位控制算法具有重要意义^[1-2]。

传统的电力失调节点定位方法中,对电力传感器网络的节点定位算法主要采用集合覆盖算法、遗传节点算法、粒子群算法和分布式算法等。文献[3]采用

混合粒子聚类算法在差分进化实现传感网络测度的信息增益线性预测,随着迭代次数的增加,聚类中心矢量向模糊边缘贴近,导致搜索准确度不高,陷入局部最优,定位控制性能不好;文献[4]提出了一种直线反馈神经网络控制的无线传感器网络节点优化部署算法,通过多重节点反复组合提高对节点的优化控制部署性能,但是算法的通信性能受到单个节点的吞吐性的影响,导致节点定位效果不好;文献[5]提出一种基于PSO的分布式传感器节点迭代定位测距算法,采用一种容积卡尔曼滤波进行干扰滤波,算法受噪声影响较大,准确度不高。针对上述问题,本文提出一种基于数据融合滤波预处理的电力传感器网络失调节点定位算法。进行电力网络失调节点定位测度信息模型构建,设计无线传感器数据融合滤波结构模型,计算电力传感器网络覆盖子载波区间正交性偏转相量,得到电力传感器网络节点数据融合与滤波调制结果使用时间更新一误差更新方程来预测下一节点定位误差,通过误差最小化迭代实现定位自动控制算法改进。

电力传感器网络定位系统模型构建

1. 电力网络节点定位测度信息模型构建

电力网络实际上是一种WSN网络,是由部署在监测区域内的多个WSN节点构成^[6-9],WSN是移动Ad Hoc网络的一种特殊形态,因此,电力网络可以看成是一种WLAN和Ad Hoc网络的融合,且发

江苏省高校自然科学基金项目资助(14KJB470008)。

挥了两者的优势，作为一种可以解决“最后1 km”瓶颈问题的新型网络结构。电力传感器网络的节点定位控制系统模型结构如图1所示。

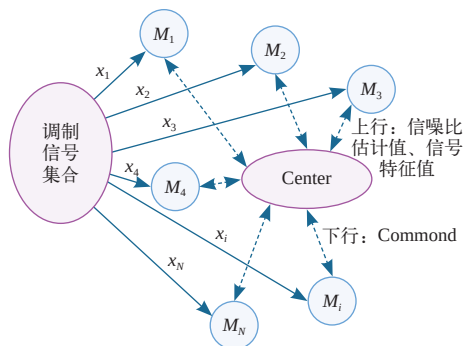


图1 电力网络节点定位系统模型

图1中， $M_1, M_2, \dots, M_N$ 为传感器节点，网络任务组（Mesh Task Group）的构建标志着WSN技术正式迈上了广泛标准化道路。另外，其他标准如802.15.3a、802.15.4a和专用短程通信（Dedicated Short Range Communications, DSRC）也开始投入使用，极大提高电力网络的数据通信性能。本文研究电力网络的定位控制模型，首先给出网络模型，电力网络采用网格形式部署，电力网络节点采用最常用的布尔模型（0/1模型）：假设部署于点 (x_s, y_s) 的节点 s 与位于 (x_p, y_p) 的任意点 p 的欧式距离为 $d(s, p)$ ，所有节点有相同的感知半径 R_s 和相同的通信半径 R_c ，且 $R_c \leq 2R_s$ 。据 SC_{MN} 中节点对的剩余能量和节点对间的距离计算出相应的连通优先级 P_c ，选择电力网络优先级 P_c 最高的那对节点变为活动状态为

$$P_c = \frac{e_i^\alpha e_j^\alpha}{d(s_i, s_j)^\beta} + z \quad (1)$$

式中， e_i, e_j 分别为 s_i, s_j 的剩余能量； z 为0~1的随机数用于减少出现相同 P_c 的概率。选择电力网络中最小覆盖集 $C = \{s_i, \dots, s_j, \dots\}$ 转为活跃状态，使得电力网络达到 k 覆盖多连通，其余节点进入休眠状态。使用卡尔曼滤波器得到时间更新—状态估计等式来预测时间 t_{k+1} 时的状态 $\hat{x}_{k+1}^-$ 为

$$\hat{x}_{k+1}^- = F(\hat{x}_k^+) \quad (2)$$

将节点所在的平面区域划分为若干个边长为 K 的块，求解定位测度信息，得到新的定位控制方

程为

$$\begin{aligned} \dot{\sigma}(X, t) &= C\dot{E} - C\dot{P}(t) \\ &= C[\dot{e}^T \ddot{e}^T \dots e^{(n)T}]^T - C[\dot{p}(t)^T \ddot{p}(t)^T \dots p^{(n)}(t)^T]^T \\ &= C_n[e^{(n)} - p^{(n)}(t)] + \sum_{k=1}^{n-1} C_k[e^{(k)} - p^{(k)}(t)] \\ &= C_n[x_i^{(n)} - x_{id}^{(n)} - p^{(n)}(t)] + \sum_{k=1}^{n-1} C_k[e^{(k)} - p^{(k)}(t)] \\ &= C_n[\dot{x}_n - \dot{x}_{id}^{(n)} - p^{(n)}(t)] + \sum_{k=1}^{n-1} C_k[e^{(k)} - p^{(k)}(t)] \\ &= C_n[f(X, t) + \Delta f(X, t) - \dot{x}_{id}^{(n)} - p^{(n)}(t)] + \sum_{k=1}^{n-1} C_k[e^{(k)} - p^{(k)}(t)] \end{aligned} \quad (3)$$

对于支配节点和连接节点的信道分配，对于每个节点 $w \in X$ ，分配信道 c 给 w ，形成一个信道分配子集 X ，然后为 X 中的每个节点分配相同的信道，由此完成了电力网络节点定位测度信息模型构建。

2. 失调节点数据融合与滤波处理

在电力传感器网络中，各个传感器之间通常具有不同的测量特性，得到无线传感器系统的测量模型为

$$z_k^i = h_k^i(x_k, u_k) + v_k^i \quad i=1, 2, \dots, M \quad (4)$$

式中， $i(i=1, 2, \dots, M)$ 为相应于传感器的参数（如 z_k^i 为传感 i 在 k 时刻的测量相量）。对于电力网络各网格：若没有达到 k 覆盖，则根据本网格内节点剩余能量 e_i 和对网络的覆盖贡献度 c 计算出各节点的覆盖优先级 P_s 。

每个失调节点都有一个时钟，每轮时间都能保持同步，在节点定位过程中，进行网络测度信息增益预测算法的目标描述：① $C \subset S$ ；② $\min \|C\|$ ；③ $\forall p \in A, \text{cov}_p \geq k$ ；④ C 中节点达到多连通；⑤ $\max(t_{\text{end}} - t_0)$ ， t_{end} 和 t_0 分别为网络终止和起始时间。

如果点 p 被 k 个网格节点覆盖到，则称点 p 被 k 覆盖。对于节点 s_i 和 s_j ，两节点的欧式距离表示为 $d(s_i, s_j)$ ，若 $d(s_i, s_j) \leq R_c$ ，如果给定区域 R 中的任一点都达到 k 覆盖，则称区域 R 被 k 覆盖。在基于无线传感器网络的节点定位控制系统中，系统的节点定位问题转化为无线传感器数据融合滤波结构问题，具体实现如图2所示。

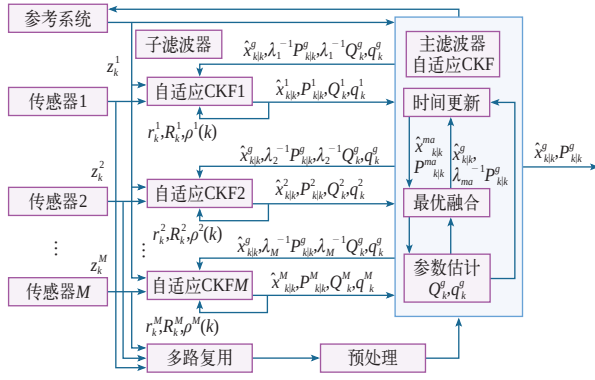


图2 无线传感器数据融合滤波结构

图2中， g 为全局参数； $\lambda_i (i=1, 2, \dots, M, ma)$ 为信息分配系数。由此实现了无线传感器网络节点数据融合与滤波处理。

算法改进实现

分析可见，传统的失调节点定位控制算法采用信息度增益控制的节点定位设计，算法随着迭代次数的增加，定位准确度不高。通过上述系统设计和数据处理，本文进行电力传感器网络数据融合滤波节点定位，通过上述数据融合滤波预处理，实现算法改进，失调节点定位基本原理如下：假设 $t+1$ 代的目标节点 o_i 的参考节点数为 $L (L \geq 3)$ ，使用时间更新-误差更新方程来预测时间 t_{k+1} 时的定位误差为

$$\hat{P}_{k+1}^- = \frac{\partial F}{\partial x} \Big|_{x=\hat{x}_k^+} P_k^+ \frac{\partial F}{\partial x} \Big|_{x=\hat{x}_k^+}^T + Q_k = P_k^+ + Q_k \quad (5)$$

其中，用 $\text{ann}(u, r_1, r_2, \alpha)$ 表示以节点 u 为传感器网络覆盖子载波区间正交性偏转相量，得到电力传感器网络失调节点数据融合与滤波调制结果为

$$\bar{C}_{ij} = \sum_{\tau} (x_{i\tau} - \bar{x}_{i\tau})(x_{j\tau} - \bar{x}_{j\tau}) \quad (6)$$

$$\tilde{C}_{ij} = \sum_{\tau} (x_{i\tau} - \tilde{x}_{i\tau})(x_{j\tau} - \tilde{x}_{j\tau}) \quad (7)$$

采用预加重方法补偿电力传感器网络节点之间的系统功率衰减，节点子载波同步误差为

$$\begin{aligned} z &= \sum_{k=0}^{N-1} k p_k \\ &= \sum_{k=0}^{N-1} k \binom{N-1}{k} p_{2D}^k (1-p_{2D})^{N-1-k} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} &= \sum_{k=0}^{N-1} k \binom{N-1}{k} (\pi R^2 / A)^k (1-\pi R^2 / A)^{N-1-k} \\ &= (N-1)(\pi R^2 / A) \end{aligned}$$

式中， k 为子载波衰减系数； R 为无线传感器网络的网格覆盖面积。通过上述分析，得到电力网络的定位测度信息模型的连通图，如图3所示，在两个重连通图 G_1 和 G_2 的两对不同顶点间加上边，形成的图 G_3 仍然是重连通图。

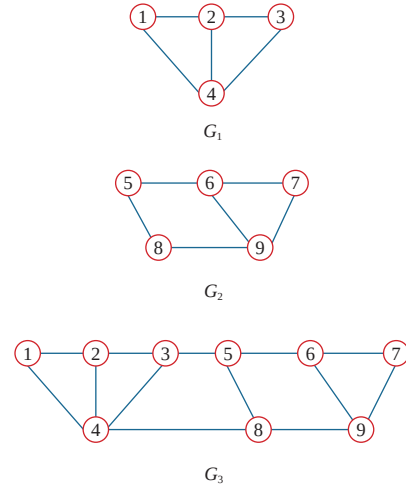


图3 电力网络的定位测度信息模型的连通图

图3中，电力网络测度信息的连通图 $G_1 = (V, E)$ 和 $G_2 = (V', E')$ 都为重连通图， G_1 和 G_2 之间不同的两对顶点间添加边，不失一般性，假设 $a_1, a_2 \in V$ ， $b_1, b_2 \in V'$ ，由于 G_1 和 G_2 为重连通图，所以 G_3 的关节点只会出现 a_1, a_2, b_1, b_2 之中。若 a_1, b_1 中一个顶点及其相关边被删除， G_1 和 G_2 之间可以由边 $\langle a_2, b_2 \rangle$ 连通，对所有的电力网络测度信息节点进行提取，使得电力网络的测度特征处于静默状态，将区域 A 划分为 $W \times L$ 个 $\frac{\sqrt{2}}{2} R_c \times \frac{\sqrt{2}}{2} R_c$ 的正方形网格，更新各节点的剩余能量 e_i ，通过上述描述，实现无线传感器网络的节点定位控制，通过上述分析可见，电力网络测度信息提取中，当采样频率(SF)对一个信号采样时，信号中SF/2以上的频率成分对称地映射到了SF/2以下的频带中，并不是消失了，这部分频率并且和SF/2以下的原有频率成分迭加起来，采用QoS优化筛选，高于SF/2时会在采样过程中而混入低频带，低于

SF/2经滤波器处理,无线传感信号必须通过滤波进行预先处理成满足定理条件的差分信号。由此可见,采用节点数据融合和滤波处理,可以有效提高对无线传感器网络节点的定位准确度。

仿真测试与结果分析

为了测试本文算法在电力无线传感器网络节点定位中的性能进行仿真实验。仿真实验中,硬件系统平台为:型号Dell 2210b,处理器为Intel Core2 Duo1.80 GHz,1 G内存,主频为DDR2 667。首先构建电力网络模型,仿真实验建立在Matlab开发环境下,选择EVC 软件,即嵌入式集成开发工具,模拟不同嵌入式硬件平台下的开发环境。使用是通过命令行来编译的,所有操作都必须在命令行下进行,具体步骤如下。

1) 进入命令行,在其中将当前目录切换到OpenGL SDK安装目录下如: C:\OpenGL SDK.2_PPC\host\x86-win32\bin;运行torvars.bat,设置环境变量。

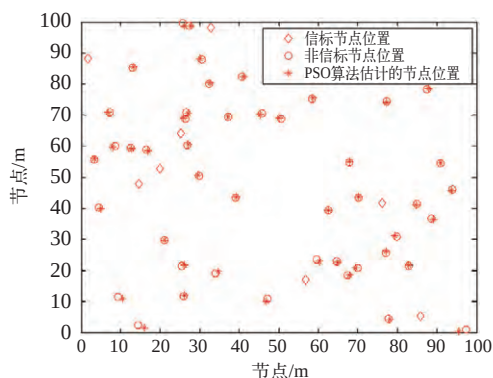
2) 切换目录到软件安装目录,如软件安装在C盘下,则将目录切换到: C:\OpenGL SDK\OpenGL DDK。

3) 编译应用程序。

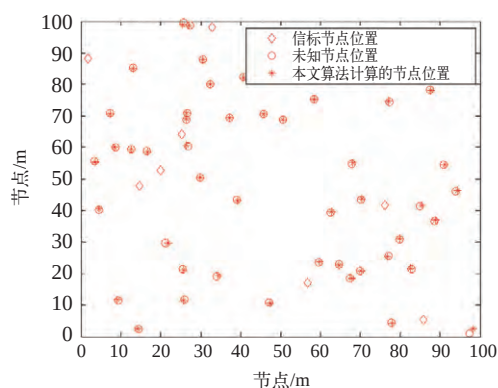
4) 编译后生成的out文件在OpenGL DDK\bin\debug或release目录下。

通过上述处理,进行仿真参数设计,得到无线传感器信息融合处理滤波器的抽头系数为11,信号的时宽0.5 s,相对带宽0.8。先验定位误差分别为2 m、1.5 m和1.5 m。节点能量调度尺度范围取0.95~1.05,间隔取0.000 5,平移范围35~65 ms。仿真得到不同算法下实现WSN节点定位分布结果如图4所示。

从图4可见,采用本文算法,能有效提高节点定位的准确性,相比传统算法,每个节点的估算位置与实际位置的距离差值较小,本文设计的失调节点定位算法定位误差较小,定位时间较快。通过节点定位,提高电力网络寿命,为了测试其优越性,得到本文算法和传统算法下的电力网络寿命对比结果如图5所示。从图5可见,采用本文



(a) 传统算法失调节点位置分布



(b) 本文算法得到的失调节点位置分布

图4 节点定位控制仿真结果

算法,通过优化电力失调传感器节点定位部署,提高了网络寿命,展示了本文算法的优越性能。

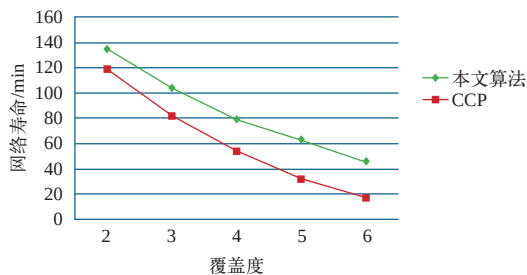


图5 不同算法下的网络寿命对比

结束语

本文研究了电力传感器网络节点优化部署和定位问题,通过对电力传感器网络进行节点定位,以明确自身位置,优化节点部署,降低电力网络功耗。传统的节点定位控制算法采用信息度增益控制的节点定位设计,算法随着迭代次数的增加,定位准确度不高。本文提出一种基于数据

融合滤波预处理的无线传感器网络节点定位算法。进行电力网络节点定位测度信息模型构建,设计无线多传感器数据融合滤波结构模型,计算传感器网络覆盖子载波区间正交性偏转相量,得到无线传感器网络节点数据融合与滤波调制结果,然后进行定位自动控制算法设计。实验结果表明,本文算法进行节点定位时,每个节点的估算位置与实际位置的距离差值较小,定位时间较快。通过节点定位,提高电力网络寿命,优化网络部署。

参考文献

- [1] Rong Yue. Joint source and relay optimization for two-way linear non-regenerative MIMO relay communications [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2012, 60 (12): 6533-6546.
- [2] Jeong Cheol, Kim Hyung-Myung, Song Hyoung-Kyu, et al. Relay precoding for non-regenerative MIMO relay systems with partial CSI in the presence of interferers [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2012, 11 (4): 1521-1531.
- [3] Su Hongtao, Liu Hongwei, Shui Penglang. A daptive beamforming for nonstationary HF interference cancellation in skywave over-the-horizon radar [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2013, 49 (1): 312-324.
- [4] 靳晓艳, 周希元, 张琬琳. 多径衰落信道中基于自适应 MCMC 的调制识别 [J]. 北京邮电大学学报, 2014, 37 (1): 31-34.
- [5] 饶雨泰, 杨凡. 网络入侵搅动下的网络失稳控制方法研究 [J]. 科技通报, 2014, 30 (1): 185-188.
- [6] 朱彦松, 窦桂琴. 一种基于多维度信任的WSN安全数据融合方法 [J]. 武汉大学学报: 理学版, 2013, 59 (2): 193-197.
- [7] 罗亮, 吴文峻, 张飞. 面向云计算数据中心的能耗建模方法 [J]. 软件学报, 2014, 25 (7): 1371-1387.
- [8] 张人上. 基于专家系统和神经网络的网络入侵检测系统 [J]. 计算机仿真, 2012, 29 (9): 162-165.
- [9] 李鹏, 孙未蒙, 李文强, 等. 一种改进积分滑模面在飞控中的应用 [J]. 控制工程, 2010, 17 (3): 269-289.
- (收稿日期: 2014-08-11) EA
- (上接第86页)
- [2] 任丽娜, 李江艳, 刘福才. 风力发电机侧整流器非线性自适应Backstepping控制 [J]. 太阳能学报, 2014, 35 (8): 1336-1343.
- [3] 黄辉先, 周杰文, 胡超, 等. 三相VSR的新型电流前馈解耦和滑模控制 [J]. 电源技术, 2014, 38 (9): 1713-1716.
- [4] 侯兆然. 基于虚拟磁链定向的PWM整流器控制方法研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42 (21): 105-109.
- [5] 冯继伟, 马江峰, 阮晓燕. 直流稳压电源检定装置测量不确定度评定 [J]. 计量与测试技术, 2014, 41 (9): 73-74.
- [6] 栾军. 一种基于UC3842的新型开关稳压电源设计 [J]. 电子世界, 2014 (16): 193-193.
- [7] 文桦, 张晓伏. 基于UC3906的本安型直流不间断稳压电源的设计 [J]. 河南大学学报: 自然科学版, 2014, 44 (4): 393-397.
- [8] 付扬. 基于multisim的多路输出直流稳压电源设计 [J]. 电子世界, 2014, 10 (21): 158-158.
- [9] 邓英浩, 闫磊. 基于DSP技术的煤矿电动机控制应用 [J]. 企业导报, 2014 (14): 129-129.
- [10] 才智. 异形件加工中步进电动机的控制研究 [J]. 价值工程, 2014, 33 (33): 46-47.
- (收稿日期: 2015-01-13) EA