



智能电网中无线传感器网络的节能节点定位方法

王翀, 曾锺

(国网江苏省电力公司信息通信分公司, 江苏 南京 210000)

摘要: 无线传感器网络在智能电网目标检测、监测和定位中得到越来越多的应用。在无线传感器网络中, 能量是一种临界资源, 系统寿命通过节能策略得到延长。提出了一种基于能量感知的节点检测和定位方法。这种方法只需要少量的传感器节点信息, 由簇头执行定位程序来确定进一步定位所需的传感器子集。这样减少了能量消耗和通信带宽需求, 延长了系统寿命。实验结果显示, 这种定位方法可以节省高达 32% 的能量。

关键词: 智能电网; 无线传感器网络; 节点定位; 能量感知

中图分类号: TN957.52

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2016110

An energy conservation method for locating wireless sensor network nodes in smart grid

WANG Chong, ZENG Zeng

Information and Communication Company, State Grid Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210000, China

Abstract: Wireless sensor network has been increasingly applied for detecting, monitoring and locating targets in smart grid. In a wireless sensor network, energy is deemed as a critical resource and life of the system can be prolonged by energy saving strategy. A node detection and localization method based on energy-aware was presented. The method could be used for the clustering-based wireless sensor networks. It employed a posterior algorithm using a two-step communication protocol between the clustering head sensor and sensors inside. Only a small amount of node information was needed for the clustering head to run the localization program to determine the subset of sensors for further localization. In this way, consumption of energy and demand for communication bandwidth could be reduced, and the system life could be prolonged as well. Experiment results show that this locating method is able to save up to 32% of energy.

Key words: smart grid, wireless sensor network, node localization, energy-aware

1 引言

智能电网的数据传输网包括有线网络和无线网络, 其中无线网络主要指无线传感器网络。无线传感器网络是面向具体应用型的网络, 在智能电网中还是一个较新与较热的研究领域。无线传感器网络的强适应性确保节点能根据

实际要求部署在各种条件苛刻、环境险恶的区域内, 不仅减轻了人工检查的工作量和困难度, 而且可以长期有效地收集数据信息, 同时减少了维护次数, 降低了有线检测的成本, 特别是在偏远山区甚至人类搜索困难的区域, 可以最大程度地体现无线传感器网络的优势。

智能电网是一项清洁绿色的工程, 要求无线传感器网



络具有更小的能量消耗和通信带宽需求,具有更长的系统寿命。能量策略在网络中是至关重要的^[1],近来有一些研究已经使传感器网络能量更有效。参考文献[2]提出了一种无论传感器是否工作,都能计算出网络寿命边界的数学模型。在参考文献[3]中,基于硬件的用来传输和接收的能量模型被广泛应用于无线传感器网络节点中。参考文献[4]提出了基于簇的 LEACH 路由算法,作为无线传感器网络的高效能量通信协议。其他相关工作包括链路层的能量节省策略^[5]、数据融合^[6]和系统划分^[7,8]等。

本文主要关注减少无线传感器网络节点定位的能量消耗问题。一般来说,一个传感器网络如果没有节点活动,能量的消耗率是恒定的^[9]。由于定位包括不同节点的协同传感和通信,一个活动的传感器网络的最低能量消耗是很难确定的。定位细节的传输由于包含大量的原始数据而需要消耗很大的能量。同时,无线信道的有限带宽也使得定位细节传输到簇头的时间有了延迟。本文采用一种新的节点定位策略来延长网络寿命。提出了一种后验的能量感知定位策略,即基于簇头和簇内传感器之间两步通信协议。第一步传感器检测出一个事件位置,并将它用简单的二进制传给簇头。然后,簇头询问一个有近似位置信息的传感器子集。仿真结果显示,使用这种定位方法可以节省最多 32% 的能量。

2 相关设定

本文作以下假设:在初始化之后,网络中的所有节点都能与簇头通信。簇头在初始化步骤中也能知道传感器的位置信息。簇头在能量的消耗上要大于传感器网络节点,这是因为本文用簇头负责计算,节点负责收集数据。为了方便,认为发送和接收一定数量的数据所花费的时间是一样的。不同节点到簇头的距离差异忽略不计。另外,假设所有传感器节点都是一致的。

传感器的检测模型是将物理的传感信号转化成概率数值,用来评价传感器收集数据的稳定水平。考虑一个 $n \times m$ 网络的传感器网络,假设在初始部署阶段有 k 个传感器,每个传感器的侦测范围是 r 。假设节点 $s_i (1 \leq i \leq k)$ 表示配置在点 (x_i, y_i) 处的节点。把协同节点 p 和 s_i 之间的欧式距离定义为 $d(s_i, p)$ 。概率传感器检测模型^[10]表示如下:

$$c_{xy}(s_i) = \begin{cases} 0, & r + r_e \leq d(s_i, p) \\ e^{-\lambda \alpha^{\beta}}, & r_e > |r - d(s_i, p)| \\ 1, & r - r_e \geq d(s_i, p) \end{cases} \quad (1)$$

其中, r_e 表示检测中的不确定性测量。 $\alpha = d(s_i, p) - (r - r_e)$, λ 和 β 表示当距离大于 r_e 且小于传感器检测范围时的检测概率测量的参量。

采用参考文献[11]中的方法来建立能量消耗的模型。假设一个传感器的能量消耗由 3 部分组成:感知、发送和接收,并分别用 ψ_s 、 ψ_t 和 ψ_r 表示。在 t 时刻,同时有 $k(t)$ 个传感器检测到目标。无线网络传感器活动的能量可以表示为:

$$E_s(k(t)) = k(t) \psi_s T_s \quad (2)$$

其中, T_s 表示传感器工作的持续时间。在一段固定时间间隔里, E_s 也是一个恒定值。节点和簇头间的通信可以被分成两类,分别为 E_b 和 E_c 。 E_b 是从簇头到节点间广播所需要的能量, E_c 是节点与簇头通信所消耗的能量。

$$E_c(k(t), T) = k(t) (\psi_t T + \psi_r T) \quad (3)$$

$$E_b(k(t), T) = \psi_t T + \psi_r T k(t) \quad (4)$$

参数 T 的取值是和通信中数据的大小成比例的。用 T_d 表示原始数据量所对应的 T , 则瞬时的能量消耗和总的能量消耗可以表示为:

$$E(t) = E_s(k(t)) + E_c(k(t), T_d) \quad (5)$$

$$E = \sum_{t_{\text{start}}}^{t_{\text{end}}} E(t) \quad (6)$$

其中, t_{start} 、 t_{end} 分别表示传感器开始、结束工作的时间。

3 目标定位方法

在两步通信协议中,当传感器检测到一个目标时,它会发送一个事件通知到簇头。为了节省能量和带宽,这个事件通知会用只需一个比特的简单方式。详细的信息会先存储在本地内存中并在后继的问询中提供给簇头。在收到簇中传感器信息的基础上,簇头执行一个或然定位算法来确定候选定位信息,然后质询邻近的传感器。目标定位方法流程如图 1 所示。

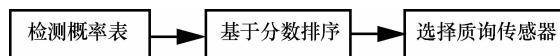


图 1 目标定位方法流程

(1) 检测概率表

算法的后验性是基于检测概率表的。这个表包含了所有可以检测网格中全体目标的那些传感器的概率报告。这样的表是通过对簇头每一个网格进行计算而得出的。假设网格点 $p(x, y)$ 被一系列的传感器 k_{xy} 检测到, 用 S_{xy} 表示。概率表的计算式为:

$$p_table_{xy}(i)=\prod_{s_j \in S_{xy}} p_{xy}(s_j,i) \tag{7}$$

其中, $0 \leq i \leq 2^{k_{xy}}$, 如果 s_j 检测到 $p(x,y)$ 的位置, 那么 $p_{xy}(s_j,i)=c_{xy}(s_j)$; 否则, $p_{xy}(s_j,i)=1-c_{xy}(s_j)$ 。

(2) 基于得分的排序

假设 $S_{rep}(t)$ 是一个在 t 时刻报告检测到目标的传感器子集, $S_{rep,xy}(t)$ 是一个在 t 时刻报告检测到点 $p(x,y)$ 的传感器子集, $S_q(t)$ 表示在 t 时刻被簇头选择问询的传感器子集。它们的基数分别表示为 $k_{rep}(t)$ 、 $k_{rep,xy}(t)$ 和 $k_q(t)$ 。采用一种基于已经建立概率表的推理方法^[12]。为了节省能量和带宽, 簇头使用概率表从 $k_{rep}(t)$ 中选择 $k_q(t)$ 个供质询的传感器子集, 得到更详细的信息。 t 时刻网格点 $p(x,y)$ 的分数可以表示如下:

$$score_{xy}(t)=p_table_{xy}(i(t)) \times w_{xy}(t) \tag{8}$$

其中, $i(t)$ 是 t 时刻 p_table_{xy} 的索引。 $w_{xy}(t)$ 的定义如下:

$$w_{xy}(t)=\begin{cases} 0, & S_{rep,xy}(t)=\{\emptyset\} \\ 4^{-\Delta k_{rep,xy}(t)}, & \text{其他} \end{cases} \tag{9}$$

$$\Delta k_{rep,xy}(t)=|k_{rep}(t)-k_{rep,xy}(t)|+|k_{rep}(t)-k_{xy}| \tag{10}$$

(3) 质询传感器的选择

假设可以允许报告事件的传感器的最大数目是 k_{max} 。如果 $k_{max} \geq k_{rep}(t)$, 所有的传感器都是可以质询的。否则, 根据得分的排序, 选择具有最小距离、最高得分的接受质询, 规则定义为:

$$S_q(t):d(S_q(t),P_{MS})=\min\{d(s_i,P_{MS})\} \tag{11}$$

其中, $s_i \in S_{rep}(t)$, P_{MS} 表示得分最高的网格点集。

4 实验和分析

实验选取 30×30 的传感器网格, 其中有 20 个传感器随机分布。参数的设置见表 1。

图 2 显示了传感器网络中随机运动的目标轨迹。目标从 start 移动到 end。假设目标的移动以离散的秒为单位, 采样两个相邻地点的间隔时间足够长。

图 3 表示目标在传感器网络中运动的瞬时和累积节省能量。从图 3 可以看出, 在定位中节省了大量的能量, 经计算, 节省能量最大可达到 32%, 最少不低于 10%。当 k_{max} 接近 $k_{rep}(t)$ 时, 节省的能量会少一些。这是因为在两步通信策略的头上需要更多的额外通信。然而, 即使当 $k_{max}=3$ 时,

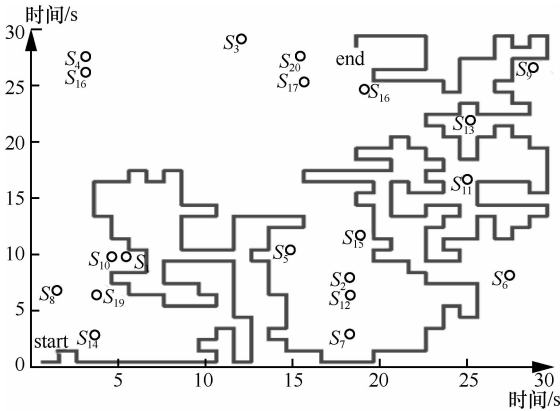


图 2 随机运动的目标轨迹示意

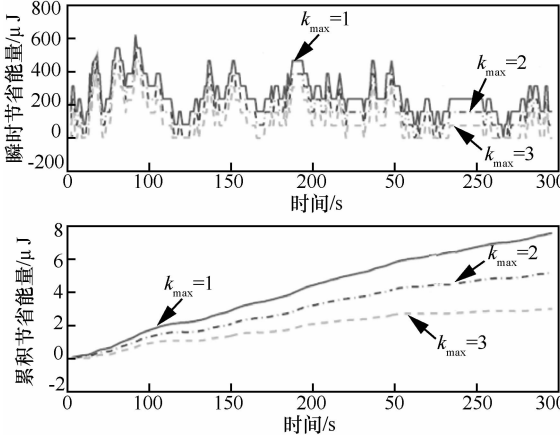


图 3 节省的瞬时和累积能量

节省的能量也是很客观的。当选择了合适的 k_{max} 后, 可以使方法的效率达到最优。

5 结束语

随着国家电网公司智能电网工程的不断发展, 无线传感器网络也得到越来越多的应用。为了达到绿色节能的建设要求, 基于簇头和簇中传感器的两步通信协议以及一种后验定位算法, 提出了一种基于能量感知的无线传感器网络节点定位方法。实验结果显示, 所提出的方法可以节省最多 32% 的能量。在今后的工作中, 随着“大云物移”(大数据、云计算、物联网、移动应用)等新技术在国家电网中的推广, 偏远地区无人巡检、移动门户、国网电子商城在个人终端的使用对进一步研究不同环境下无线传感器网络的节点定位方法和安全认证问题提出了

表 1 实验参数设置

r	r_e	λ	β	$\psi/(nJ \cdot s^{-1})$	$\psi/(nJ \cdot s^{-1})$	$\psi/(nJ \cdot s^{-1})$	T_d/ms	T_e/ms	T_q/ms
5	4	0.5	0.5	400	400	1 000	100	2	4



更高的要求。

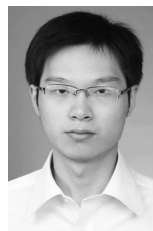
参考文献:

- [1] KULKARNI R V, FORSTER A, VENAYAGAMOORTHY G K. Computational intelligence in wireless sensor networks[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2011, 13(1): 68-96.
- [2] 李成法, 陈贵海, 叶范, 等. 一种基于非均匀分簇的无线传感器网络路由协议[J]. 计算机学报, 2012, 30(1): 27-36.
Li C F, CHEN G H, YE F, et al. An uneven cluster based routing protocol for wireless sensor networks [J]. Chinese Journals of Computers, 2012, 30(1): 27-36.
- [3] XU K N, HASSANEIN H, TAKAHARA G, et al. Relay node deployment strategies in heterogeneous wireless sensor networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2012, 9 (2): 145-159.
- [4] LIU Y H, LIU K B, LI M. Passive diagnosis for wireless sensor networks [J]. IEEE Transactions on Networking, 2010, 18(4): 1132-1144.
- [5] 王洪玉, 刘爽. WSN 中基于融合代价和传输代价的分簇算法[J]. 大连理工大学学报, 2013, 50(4): 591-596.
WANG H Y, LIU S. A clustering algorithm based on fusion and transmission cost for WSN [J]. Journal of Dalian University of Technology, 2013, 50(4): 591-596.
- [6] 蒋畅江, 石为人, 唐贤伦, 等. 能量均衡的无线传感器网络非均匀分簇路由协议[J]. 软件学报, 2012, 23(5): 1222-1232.
JIANG C J, SHI W R, TANG X L, et al. Energy balanced unequal clustering routing protocol for wireless sensor networks[J]. Journal of Software, 2012, 23(5): 1222-1232.
- [7] WANG W, SRINIBASAN V, WANG B, et al. Coverage for target location in wireless sensor networks [C]//20th IEEE Annual Joint Conference of Computer and Communications Societies, April 22-26, 2001, Anchorage, AK, USA. New Jersey: IEEE Press, 2013, 7(2): 667-676.
- [8] DOHERTY L, PISTER K S, GHAOUI L E. Convex position estimation in wireless sensor networks [C]//20th IEEE Annual Joint Conference of Computer and Communications Societies, April 22-26, 2001, Anchorage, AK, USA. New Jersey: IEEE Press, 2011: 1655-1663.
- [9] 周艳, 李海成. 基于 RSSI 无线传感器网络空间定位算法[J]. 通信学报, 2013, 30(6): 75-79.
ZHOU Y, LI H C. Space localization algorithm based RSSI in wireless sensor networks [J]. Journal of Communications, 2013, 30(6): 75-79.
- [10] 田丰, 郭巍, 王传云, 等. 大规模 WSNs 多层定位模型与误差分析[J]. 电子学报, 2011, 37(5): 195-199.
TIAN F, GUO W, WANG C Y, et al. Multilevel localization model and localization error analyze for large scale WSNs[J]. ACTA Electronica Sinica, 2011, 37(5): 195-199.
- [11] 王福豹, 史龙, 任丰原. 无线传感器网络中的自身定位系统和算法[J]. 软件学报, 2013, 16(5): 857-868.
WANG F B, SHI L, REN F Y. Self-localization systems and algorithms for wireless sensor networks [J]. Journal of Software, 2013, 16(5): 857-868.
- [12] 李建州, 王海涛, 陶安. 一种能耗均衡的 WSN 分簇路由协议[J]. 传感技术学报, 2013, 26(3): 396-401.
LI J Z, WANG H T, TAO A. An energy balanced clustering routing protocol for WSN [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2013, 26(3): 396-401.

[作者简介]



王翀(1982-),男,国网江苏省电力公司信息通信分公司技术发展部高级工程师,主要研究方向为电力信息通信技术。



曾铨(1987-),男,国网江苏省电力公司信息通信分公司技术发展部中级工程师,主要研究方向为电力信息通信技术。