

传感网协同环境下容错目标检测和定位策略

冯 钧^a, 吴晓蓓^b, 葛 辉^a

(南京理工大学, a. 泰州科技学院, 江苏 泰州 225300; b. 自动化学院, 南京 210094)

摘 要: 针对无线传感网拓扑结构的动态特性和目标协同定位的准确性, 通过对网络节点特性、网络模型和无线信道传输模型进行需求分析, 给出若干相关定义和数学模型, 并在此基础上提出了一种具有容错性的传感网协同环境下的目标检测和定位策略, 由目标区域监测、目标监测定位和基站通信定位3个阶段组成。该方法的基本原理是所有传感节点通过判断接收目标信息的强度来确定观测值, 在此基础上通过与其他节点进行通信, 取观测平均值为本区域的观测值, 从而筛选出合格和优秀传感节点与基站传感节点通信, 最后由基站和通用两类传感节点协作完成对检测目标位置的准确定位, 具有容错性能好、定位准确度高等特点。仿真结果从容错能力评价、定位准确度等方面验证了所提方法的正确性和有效性。

关键词: 目标检测; 协同定位; 容错性; 传感网

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2015)03-0050-04

Fault-Tolerant Target Detection and Localization Strategy Under Sensor Network Collaborative Environment

FENG Jun^a, WU Xiao-bei^b, GE Hui^a

(Nanjing University of Science and Technology, a. Taizhou Institute, Taizhou 225300, China;

b. Automation Department, Nanjing 210094, China)

Abstract: Aiming at the dynamic characteristics of topological structure for wireless sensor network and the fault-tolerant requirement of target detection, by means of demand analysis to the network node characteristics, network model and the wireless channel model, some definitions and related mathematical model are given. On which basis, a fault tolerant target detection and localization strategy in the presence collaborative sensor network is proposed, which is composed of 3 phases as target region monitoring, target monitoring and positioning, and base station communication positioning. The principle of the method is that the target signal intensity received by sensor node is taken as the observation value, and the average of observation value sequence of the surrounding nodes as local observation through local information exchange. Thus the qualified and excellent sensor nodes and the base station node communication are selected. Finally, the target is localized precisely through two types of sensor node with good fault-tolerant performance and positioning accuracy. The simulation results verify the correctness and effectiveness of the proposed method from fault-tolerant ability evaluation and positioning accuracy.

Key words: target monitor; cooperative localization; fault-tolerance; sensor network

0 引言

近年来,无线传感网(Wireless Sensor Networks, WSN)

广泛应用于工业、农业以及环境监控、军事工程等诸多领域,成为信息领域的研究热点,但仍有许多关键技术问题尚未解决^[1-3],如目标区域的有效检测和定位、网络能量的高效运用、传感网的拓扑和路由控制、数据分簇和融合、网络入侵的有效防护等,其中,目标的有效检测和定位是一项关键技术。目标检测定位是指计算出某一时刻的无线传感网内被检测目标的空间位置^[4-5],目前国内外涌现出了一些有代表性的算法,文

收稿日期:2013-06-27

修回日期:2014-06-20

基金项目:国家自然科学基金(60672143);江苏省自然科学基金(BK2012803);教育部博士点基金(20113219110028)

作者简介:冯 钧(1983—),男,江苏宜兴人,硕士,讲师,研究方向为智能控制、无线传感器网络技术、网络环境下的信息获取与处理等。

献[6]提出了一种基于精确传播时延测量的目标定位算法,该算法精度高,但却只适用于对静止目标的定位;文献[7]提出了一种基于稀疏信号重构的目标定位算法,该算法能够实现多目标定位,然而定位精度不甚理想;文献[8]设计了一种基于超声波和无线电相结合的目标检测和定位系统,该系统能够实现对移动目标的准确定位与跟踪,但只适用于小范围网络;文献[9]提出了一种 MCB 移动定位算法,该算法引入遗传算法的变异和交叉操作,使定位精度提高,但在实时信息采集方面却显示出了不足。

上述算法大都基于比较理想的网络通信环境,实际传感网络环境中无线链路由于遭受周围环境的干扰,网络结构易于动态变化,所以无线传感网的目标检测定位算法必须尽可能根据局部信息计算目标的位置,具有较好的容错性能以适应定位的具体情况。传感网目标检测定位实质上是协同定位的过程,在协同网络环境下对目标进行检测定位,就能在资源受限的条件下得到比独立检测定位更加准确的结果。因此,本文在分析传感网络环境模型的基础上,提出一种传感网协同环境下的容错目标检测和定位策略,它能有效滤除失效和故障节点,具有较好的容错性能。

1 传感网模型

本文所研究的定位策略对传感节点特性、网络模型和无线信道模型提出了一定的客观要求,下面给出若干定义。

1.1 节点理想特性

传感网络中拥有较多数量的通用传感节点和一定数量的基站传感节点两种类型:前者的任务主要是接收目标信号,后者的作用则是对信息进行处理并有效定位,通过全覆盖算法覆盖目标区域,无用节点处于睡眠状态,根据需要进行激活;所有传感节点都拥有自身的 ID 标记,并对数据具有强大的处理能力,能够基于接收信号的强度对目标位置进行准确合理定位。

1.2 网络理想模型

定义 1^[10] 假设传感网络的目标检测区域为二维平面坐标图, $O_i(x, y)$ 为平面坐标图内检测目标的坐标。

定义 2^[11] 假设目标区域通用传感节点用 N_i 表示,以节点为中心位置、 R 为半径的区域包含的通用传感节点总数用 $Ar(N_i)$ 表示。

定义 3^[12] 假设节点传感区域为圆形区域; r_{n1} 定义为完全传感半径,在此半径内的目标一定能被监测到; r_{n2} 定义为完全无传感半径,在此半径外的目标不能探测到。传感节点定位目标的概率随距离成指数变

化,即

$$P_i = \begin{cases} 1 & d_i < r_{n1} \\ e^{-\alpha d_i} & r_{n1} \leq d_i \leq r_{n2} \\ 0 & d_i > r_{n2} \end{cases} \quad (1)$$

式中: P_i 为节点定位概率; d_i 为节点目标之间的距离; α 为衰减系数。

1.3 无线信道模型

本文的定位策略假定信号计算、传输过程是可靠的,即节点内部的数据处理以及相邻节点的信息交换不会发生错误。与目标节点距离为 d 的传感节点接收到的信号强度的无线信道数学模型为

$$S(d) = S(d_0) - 10n \times \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (2)$$

式中: d 为目标点到传感节点间的距离; d_0 为参考距离; n 为信道衰减指数; $S(d_0)$ 为距离目标点 d_0 处传感节点侦测到的初始位置信号强度; $S(d)$ 为距离目标点 d 处传感节点侦测到的信号衰减散布的信号强度。

2 容错目标检测和定位策略

本文方法与传统算法的区别在于:通过交换传感节点接收目标信息强度的均值为本区域的观测值,通过通用和基站两类传感节点协同完成对检测目标位置的定位^[13]。它分为目标区域检测、目标定位和基站定位 3 个过程,定位结果较为准确,并具有较强的容错能力。

2.1 算法理论基础

该方法的基本原理是:所有传感节点通过判断接收目标信息的强度来确定观测值,在此基础上通过与其他节点进行通信,取观测平均值为本区域的观测值,从而筛选出合格传感节点,在此基础上筛选出优秀传感节点与基站传感节点通信,最后由基站和通用两类传感节点协作完成对检测目标位置的准确定位,总体过程如图 1 所示。

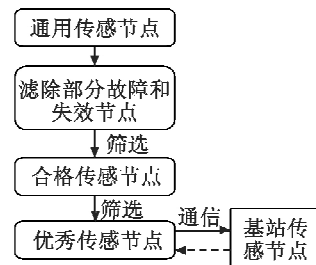


图 1 检测总体流程图

Fig. 1 Diagram of overall monitoring

从图 1 中节点筛选的过程可以看出,单一传感节点对整个定位系统的影响微乎其微,少量失效传感节点不会影响整个网络,较大地增强了容错能力,同时降低了网络能量损耗,较好地延长了网络寿命和周期。

2.2 算法实施阶段

2.2.1 目标区域监测

目标区域内通用传感节点总数为 n , N_i 表示通用传感节点, $Ar(N_i)$ 表示以节点为中心位置、 R 为半径的区域包含的通用传感节点集合。

1) 收集信息。设定收集门限: 上限 λ_1 , 下限 λ_2 , 由 N_i 收集区域 $Ar(N_i)$ 内所有符合门限 $[\lambda_1, \lambda_2]$ 约束的通用传感节点的监测信息集 $\{I_1, I_2, \dots, I_m\}$ 。

2) 计算平均值。

$$A_i = (I_1 + I_2 + \dots + I_m) / m \quad (3)$$

作为传感节点 N_i 的本区域监测数据, 选取平均值可以平衡高值和低值的影响, 起到纠正故障传感节点观测值的作用, 提高算法的容错性。

3) 选取合格节点。确定通过标准, 设定估计值 θ_1 , 对通用传感节点进行首次选择, 选取标准为: 如果传感节点 N_i 的平均值 A_i 大于 θ_1 , 则 N_i 为合格传感节点。

2.2.2 目标检测定位

1) 选取优秀节点。假设有 m 个合格传感节点, 将 $Ar(S_i)$ 中合格传感节点的监测数据表示成数据集 $\{I_1, I_2, \dots, I_m\}$ 。

设定系数和门限分别为 m/n 和 θ_2 , 若 N_i 的系数 m/n 大于 θ_2 , 且 N_i 数据满足 $I_i = \max\{I_1, I_2, \dots, I_m\}$, 则 N_i 为优秀节点。

对 N_i 区域集 $Ar(S_i)$ 进行筛选, 得到一个筛选子集, 基于其几何中心确定目标位置, 并将坐标值及系数送至基站。设 θ_3 为门限系数, 则筛选条件为 A_i 大于等于 $I_i - \theta_3$, 把 N_i 送入子集, 然后得到 $\{N_{i1}, N_{i2}, \dots, N_{iq}\}$ 。

2) 漂移系数。假定被监测信号的传递特征函数为 $R = f(d)$, 取其反函数则为 $d = f^{-1}(R)$, 其中, d 与 R 成反向比关系。

定义漂移系数的公式为

$$\omega = \frac{1}{f^{-1}(R)} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{f^{-1}(R)} \right]} \quad (4)$$

3) 目标检测定位。定义被检测目标点为 $O_i = [O_i(x), O_i(y)]$, O_i 表示目标在平面坐标图中的位置。

$$\begin{cases} O_i(x) = (\omega_1 X(O_i) + \omega_2 X(O_i) + \dots + \omega_q X(O_i)) / q \\ O_i(y) = (\omega_1 Y(O_i) + \omega_2 Y(O_i) + \dots + \omega_q Y(O_i)) / q \end{cases} \quad (5)$$

优秀传感节点随后将漂移系数和管理数据上传到基站, 于是基站就会收到一组数据序列 $\{O_1, O_2, \dots, O_q\}$ 。

2.2.3 基站通信定位

1) 区域监测和目标定位分别按周期运行, 监测系数和定位结果的相关数据由优秀传感节点负责传送给

基站;

2) 经过 T 个周期后, 每个优秀传感节点的数据形成一组序列 G , 用 $|G|$ 表示;

3) 计算收集系数 $|G|/T$, 设定门限系数 ω_2 , 如果 $(m/n \cdot (|G|/T))$ 大于 ω_2 就记录数据并发送一个报告;

4) 坐标定位。

$$\tilde{I}_i = [\tilde{I}_i(x), \tilde{I}_i(y)] = [O_1^i + O_2^i + \dots + O_{|G|}^i / |G|]; \quad (6)$$

5) 上传结果 $[\tilde{I}_i, \frac{k}{n}, \frac{|G|}{T}]$ 。

3 容错目标检测和定位策略仿真

3.1 性能评价分析

3.1.1 容错能力评价

容错能力指的是网络发现并主动消去故障节点的性能表征, 可定义为

$$\begin{cases} \alpha = \frac{F_{i1}}{A_{i1}} \\ \beta = \frac{F_{i2}}{A_{i2}} \end{cases} \quad (7)$$

式中: A_{i1} 为低级传感节点的数量; F_{i1} 为 $Ar(N_i)$ 中失效节点的数量; A_{i2} 为筛选子集中传感节点的数量; F_{i2} 为筛选子集的 $Ar(N_i)$ 中失效节点的数量。

定义 $C(R_i)$, $O(R_i)$ 和 $T(R_i)$ 分别表示计算、原始和理论数据, 则有

$$N(F_i) = \alpha / \beta \quad (8)$$

$$I(R_i) = \frac{|C(R_i) - T(R_i)|}{|O(R_i) - T(R_i)|} \quad (9)$$

式中, $N(F_i)$ 越大, $I(R_i)$ 越小, 则表示容错能力越好。

3.1.2 目标定位准确度评价

通过目标的坐标定位结果和实际目标之间的差距来完成对目标定位的准确度的评价, 定义为

$$D(\tilde{I}_i) = \text{sqrt}\left\{ \left[\tilde{I}_i(x) - I_i(x) \right]^2 + \left[\tilde{I}_i(y) - I_i(y) \right]^2 \right\} \quad (10)$$

式中, $D(\tilde{I}_i)$ 越小, 表明定位准确度越高。

3.2 Matlab 仿真结果

本文基于 Matlab 工具平台对定位策略进行仿真。将 1 000 个节点(包括通用传感节点和基站传感节点)随机抛撒在 100×100 的目标监测区域内, 如图 2 所示。

在仿真中, 目标的发射功率设置为 25 mW。节点接收目标信号的强度符合衰减分布, 设衰减系数 $\alpha = 2$, 信号传输环境或信号噪声均符合均值为 0、方差为 1 的正态分布。

1) 定位精度和故障节点数量的关系如图 3 所示。从图 3 中可以看出, 1 000 节点中故障节点从 10 个增加

到50个,并没有影响定位准确度,表明该策略能够滤除故障和失效节点,具有较好的纠错能力和容错性能。

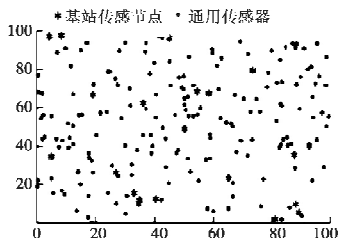


图2 传感节点部署图

Fig. 2 Diagram of sensor node deployment

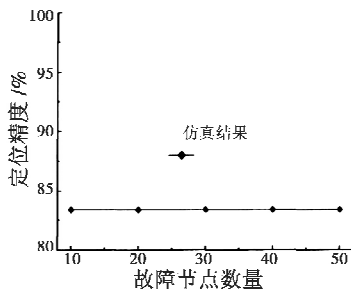


图3 定位精度和故障节点数量关系图

Fig. 3 Positioning accuracy vs failure node quantity

2) 定位准确度和节点通信半径的关系如图4所示。定位准确性是无线传感网络目标容错检测定位算法的本质标准,从图4中可以看出,随着传感节点通信半径的增加,目标定位准确度提升,表明该策略的优越性。

3) 定位准确度和节点密度的关系如图5所示。从图5中可以看出,当节点分布越来越密集,算法定位的准确度也在逐步上升。当节点密度升至55时,定位准确性达到了较高的水平,网络具备较好的容错检测性能。

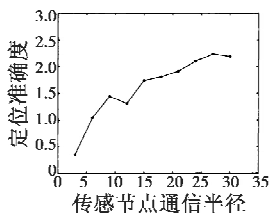


图4 定位准确度和节点通信半径关系图

Fig. 4 Positioning accuracy vs node communication radius

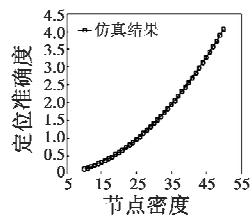


图5 定位准确度和节点密度关系图

Fig. 5 Positioning accuracy vs node density

4 结论

本文根据无线传感网动态结构和目标检测定位对容错性的要求,提出了一种基于观测均值、具有较好容错性能的目标检测和定位方法,并通过 Matlab 仿真,对不同故障节点数量、节点通信半径、节点密度与定位

准确度、容错能力之间的关系进行了评价和分析。结果表明,网络具有较好的容错性,并具有较为准确的定位性能,因而算法具有一定的理论和应用研究意义。

参考文献

- [1] 彭力. 无线传感器网络技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2011. (PENG L. The technology of wireless sensor network[M]. Beijing:Metallurgical Industry Press, 2011.)
- [2] 韩红彦,张西红,张晓. 无线传感网络研究[J]. 科学技术与工程,2009,7(8):1701-1707. (HAN H Y, ZHANG X H, ZHANG X. Research on wireless sensor network[J]. Science Technology and Engineering, 2009, 7(8):1701-1707.)
- [3] ZHANG W S, CAO G H. Optimizing tree reconfigurations for mobile target tracking in sensor networks[C]//IEEE INFOCOM, 23rd Annual Joint Conference of IEEE Computer and Communication Societies, 2004:2434-2445.
- [4] THAELER A, DING M, CHENG X. iTPS: An improved location discovery scheme for sensor networks with long range beacons, to appear in special issue on theoretical and algorithmic aspects of sensor[J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2010, 65(2):98-106.
- [5] 李志刚,屈玉贵,蔺智挺,等. 基于无线传感网络的战场目标跟踪[J]. 传感器与微系统,2007,26(7):118-119. (LI Z G, QU Y G, LIN Z T, et al. Battlefield target tracking based on wireless sensor network[J]. Sensor and Micro System, 2007, 26(7):118-119.)
- [6] 吴泽民,张磊,王海. 无线传感网中高精度的静止目标定位算法[J]. 系统仿真学报,2009,21(2):107-113. (WU Z M, ZHANG L, WANG H. A high-precision target positioning algorithm for wireless sensor network [J]. Journal of System Simulation, 2009, 21(2):107-113.)
- [7] 王勇,王雪,孙欣尧. 基于稀疏信号重构的无线传感网络目标定位[J]. 仪器仪表学报,2012,33(2):44-53. (WANG Y, WANG X, SUN X Y. Wireless sensor network target localization based on sparse signal reconstruction [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2012, 33(2):44-53.)
- [8] 胡必武,蔡海滨. 基于无线传感网的目标检测与跟踪系统研究[J]. 计算机工程与设计,2013,29(5):126-133. (HU B W, CAI H B. Research on target detection and tracking system based on of wireless sensor network [J]. Computer Engineering and Design, 2013, 29(5):126-133.)
- [9] 张锐恒,庄毅,赵振宇,等. 基于 MCB 的传感网移动目标定位算法[J]. 计算机科学,2012,39(8):223-228. (ZHANG R H, ZHUANG Y, ZHAO Z Y, et al. A moving tar-

- 设计[D].长沙:国防科学技术大学,2005. (ZHANG Y. The analysis and design of laser gyro SINS data acquisition circuit [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2005.)
- [2] 虞露,李傲,冯兴光. 大规模可编程逻辑器件(FPGA)开发系统电源设计研究[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2007:125-164. (YU L, LI J, FENG X G. Large-scale programmable press logic device (FPGA) development system power supply design study [M]. Xi'an: Xidian University Press, 2007:125-164.)
- [3] 章燕申. 激光陀螺抖动偏频研究[J]. 北京航空航天大学学报, 1990, 11(3):15-20. (ZHANG Y S. The study laser gyro dithered [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 1990, 11(3):15-20.)
- [4] 谢绪焯. 激光陀螺捷联惯导组件数据采集电路设计与实现[D]. 太原:中北大学,2011. (XIE X Y. The laser gyro SINS component data acquisition circuit design and implementation [D]. Taiyuan: North University of China, 2011.)
- [5] 任晨纲. 基于FPGA的激光陀螺捷联惯导系统信号检测与处理[D]. 长沙:国防科学技术大学,2009. (REN C G. The laser gyro SINS FPGA-based signal detection and processing [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2009.)
- [6] 孟俊芳. 弹载惯导系统中的加速度计L/F变换电路[J]. 航空兵器, 1998, 21(1):35-38. (MENG J F. On-board accelerometer inertial navigation system L/F converter circuit [J]. Air Weapons, 1998, 21(1):35-38.)
- [7] 李文刚. 基于FPGA的高速高阶FIR滤波器设计[D]. 成都:电子科技大学,2005. (LI W G. The high-speed high-order FIR filter design based on FPGA [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2005.)
- [8] LUTOVAC M D, TOSIC D V, EVANS B L. 信号处理滤波器设计——基于Matlab和Mathematica的设计方法[M]. 朱义胜,董辉,译. 北京:电子工业出版社,2004. (LUTOVAC M D, TOSIC D V, EVANS B L. Filter design for signal processing using Matlab and Mathematica [M]. Translated by ZHU Y S, DONG H. Beijing: Electronic Industry Press, 2004.)
- [9] 丛玉良,王宏志,赵晓明. 数字信号处理原理[M]. 2版. 北京:电子工业出版社,2009:34-45. (CONG Y L, WANG H Z, ZHAO X M. The digital signal processing theory [M]. 2nd ed. Beijing: Electronic Industry Press, 2009:34-45.)
- [10] 李国辉. 惯性器件的温度漂移及补偿技术研究[D]. 西安:航天第十六研究所,2003. (LI G H. Inertial drift and temperature compensation device technology research [D]. Xi'an: The Sixteenth Institute of Aerospace, 2003.)
- (上接第53页)
- get detection algorithm for sensor network based on Monte-Carlo localization boxed [J]. Computer Science, 2012, 39(8):223-228.)
- [10] 孙利民. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社,2005. (SUN L M. Wireless sensor network [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005.)
- [11] 季莹. 基于粒子滤波的无线传感器网络目标跟踪[D]. 北京:北京交通大学,2007. (JI Y. Target tracking for wireless sensor network based on particle filter [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2007.)
- [12] 林瑞仲. 面向目标跟踪的无线传感器网络研究[D]. 杭州:浙江大学,2005. (LIN R Z. Research on wireless sensor network for target tracking [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2005.)
- [13] 冯钧,黄成,徐志良,等. 多节点协作的WSN监测目标和定位算法研究[J]. 河南理工大学学报, 2014, 33(2):211-215. (FENG J, HUANG C, XU Z L, et al. Research on multi-node cooperative monitoring target and positioning algorithm for wireless sensor network [J]. Journal of Henan University of Science and Technology, 2014, 33(2):211-215.)



请扫描二维码
关注我刊

