

文章编号:1673-0062(2012)04-0047-04

面向核环境监测的无线传感网目标检测算法研究

邓贤君,易灵芝*,王彦,黄智伟

(南华大学 电气工程学院,湖南 衡阳 421001)

摘要:针对核环境的特殊性,采用无线传感器网络这种新兴技术进行核环境监测,本文提出了一种高效的分布式目标检测算法.该算法基于数据融合理论,采用层级结构设计,每个传感器节点充分利用自己和邻居节点的决策信息来做局部检测决策,决策中心根据各个节点通过无线方式传送过来的局部决策值来做出最终决策.本文对所提算法的性能进行了仿真验证,并且与已有另外的两种算法进行了比较,仿真结果表明,本文提出的算法性能优异,能够满足实际应用的要求.

关键词:无线传感器网络;核监测;分布式算法;数据融合;覆盖

中图分类号:TP393.2

文献标识码:B

A Target Detection Algorithm for Radiation Surveillance Using Wireless Sensor Networks

DENG Xian-jun, YI Ling-zhi*, WANG Yan, HUANG Zhi-wei

(School of Electric Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: This paper proposed a distributed target detection algorithm (DTDA) for radiation surveillance using wireless sensor networks. Based on the data fusion theory, the DTDA adopts a structure of three levels. Each sensor not only uses its own measurement, but also makes full use of its neighboring sensors to make a cluster-level decision. The fusion center of the sensor network will make a whole network-level decision based on the cluster-level decisions, which are transmitted to the fusion center by wireless communication. We evaluate the performance of our DTDA by simulations. Simulation results show that our DTDA can greatly improve the network decision performance, and the proposed algorithm outperforms two typical peer algorithms.

key words: wireless sensor network (WSN); radiation surveillance; distributed algorithm; data fusion; coverage

收稿日期:2012-09-14

基金项目:湖南省科技计划基金资助项目(2011GK3187)

作者简介:邓贤君(1981-),男,湖南郴州人,南华大学电气工程学院讲师,博士研究生.主要研究方向:无线传感器网络覆盖控制、目标检测、节点部署、物联网等.*通讯作者.

无线传感器网络(Wireless Sensor Network)是近年来兴起的一种新兴技术.它是由部署在监测区域内的大量的廉价微型传感器节点组成,通过无线通信方式形成的一个多跳的自组织网络系统.它能够协作地感知、采集和处理网络覆盖区域中感知对象的信息,并通过无线传输方式发送给网络的使用者^[1].

随着世界能源危机的加剧,核电因其属于清洁能源的独特的优势得到了广泛应用.核电发生重大事故的概率很低,但是,一旦发生大规模的放射性物质泄漏的事件,将会给社会和环境带来巨大的破坏和灾难,而且这种破坏的时间周期很长,甚至长达几十年都留有严重的后遗症,前苏联的切尔诺贝利事故和 2011 年 3 月 11 日的日本福岛核电站泄漏事件,都已经充分验证了这一点.因此我们必须要对可能发生的低概率核事故做好充分的应急准备和实时监测.

面向核环境监测的技术和手段有很多.在初期主要是通过人工方式进行,由工作人员持监测设备进入核监测区域进行工作,这类方式很危险,易使工作人员遭受辐射伤害.近年来,随着人工智能技术和信息技术的发展,一些新的技术手段已经开始广泛应用于核环境监测中,包括机器人、无线通信、无线传感器网络等,并取得了较好的效果.文献[1-3]提出了应用无线传感器网络进行核环境监控的方案,并对所提的方案进行了计算机模拟仿真.

无线传感器网络目前已经在环境监测、目标检测、数据采集等领域得到了广泛应用.充分利用无线传感器网络的诸多优点,来进行核环境的监测,及时准确地向决策者提供核设施和核区域的运行和环境情况,提供周围环境的指标参数,供决策者参考和决策,是一个具有重大研究价值和应用价值的研究方向.

1 监测需求分析

1.1 覆盖模型

覆盖模型是网络覆盖研究中非常重要的一个度量和因素.在无线传感器网络覆盖研究中,目前广泛采用的模型有两种^[4]:圆盘模型(Disk Model)^[5-8]和概率模型(Probability Model)^[5,9-10].圆盘模型属于经典模型,在理论研究的时候用它比较方便,能够得出一些较好的分析和结果,但是在实际情况中应用时,则显得过于太过理想化,凸显出了这种模型的一些缺陷.于是,一些学者提出了概率模型,概率模型在实际应用时能够较好的契合

实际的应用环境,所以近年来得到了广泛的应用.文献[5]就是基于概率模型提出了一种普通的目标检测算法(Ordinary Target Detection Algorithm, ODTA)和改进的检测算法(LDTA).本文所提出的 DTDA 算法也是一种基于概率模型的目标检测方法.

1.2 核监测环境下的网络需求

由于核监测环境的特殊性,很多无线传感器网络中较成熟的检测算法不一定适用,需要深入分析核监测环境的应用需求,并基于它设计合适、高效的目标检测算法.核监测环境下的目标检测算法应该满足如下条件:

1)从核监测环境的范围和规模来看,应该要部署中型甚至大型的无线传感器网络.大中型网络对覆盖的要求很高,较容易产生检测盲区,对检测的性能要求很高,所以,所设计的检测算法要能够充分满足检测指标和需求.

2)从核监测环境可能具有放射性伤害来看,所部署的无线传感器网络应该要具有自组织性和自动调整能力.这就要求设计的算法最好是分布式算法,因为分布式算法比集中式算法更能适应动态环境.

3)由于传感器节点能量有限,它们可能在强辐射环境下工作,给节点进行充电、电池更换等是非常不方便甚至是不可能的,因此需要设计的检测算法要节能,尽量减少原始数据的大量传输,使无线传感器网络尽可能的延长其生命周期.

2 基于数据融合理论的目标检测算法设计

2.1 数据融合(Data Fusion)简介

数据融合理论目前已广泛应用于多个领域.在无线传感器网络的分布式检测^[4]中,主要有两种数据融合机制,分别是数值融合(value fusion)和决策融合(decision fusion).在数值融合中,每个传感器节点发送它原始的测量值到融合中心或决策中心(fusion center),由决策中心根据所接收到的所有的测量值依据某种准则(如:少数服从多数准则)来做出目标或事件是否出现的判决.而在决策融合中,每个传感器节点根据它自己的测量值先做一个初步的判断和决策,然后再把自己所做的判断和决策发送给融合中心,融合中心根据各个节点发送过来的决策再依据某种准则做出判断和决策.

数值融合和决策融合各有特点.数值融合由于传输的都是各个节点原始的测试数据,因此对传

输、对信道、对存储要求较高,能耗大,而决策融合传输的仅仅是各个节点的决策值(1 或 0)。在无线传感器网络中,传输所消耗的能量比处理需要的能量要大很多,所以,决策融合相比数据融合来说,更节能,能延长网络的生命期。

2.2 基本假设

在设计算法之前,对所部署的传感器网络做一些合理的基本假设。假设所部署传感网是一个具有 N 个传感器节点的静态网络,并且这些节点被随机地部署于监测区域中。这里,“静态”是指,节点被随机地部署于监测区域后,不具有移动能力,它们的位置可知(如:给每个节点装配 GPS 导航模块)并且固定,而随机性是指不采用某种特定的部署方式,这与核监测环境的特殊性是符合的,因为在这种区域中部署和投送传感器节点的方式一般都是通过飞机进行空中投送。不失一般性,为了研究和仿真的便利,假定所监测的区域是单位面积的区域。这里‘单位面积’可以是 $100 \text{ km} \times 100 \text{ km}$ 甚至更大。在被监测的区域中,某个目标或者事件出现后,会放出某种信号,这种信号的表征本文用能量的强度来衡量。

式(1)表示事件是否出现,

$$\begin{aligned} H_0: x_i &= n_i \\ H_1: x_i &= s_i + n_i \end{aligned} \quad (1)$$

式(1)中的 n_i 表示监测环境的噪声分量, s_i 表示第 i 个节点所监测到的测量值。假设噪声 n_i 是独立同分布的高斯白噪声,它的均值为 0,方差为 σ^2 。此外被监测目标变量信号的衰减模型采为以下两个,

$$\begin{aligned} M1: s_i &= S_0 \exp\left(-\frac{d_i^2}{\alpha^2}\right) \\ M2: s_i &= S_0 / (1 + d_i^3 / \alpha^3) \end{aligned} \quad (2)$$

这里的 d_i 表示节点与监测目标的欧式距离, α 表示监测目标信号随着距离的增加而衰减的衰减因子。之所以选择这两个模型作为监测目标的信号衰减模型,是因为这两个模型能够代表大多数实际的物理过程,如声波和电磁波衰减等。同时,将信噪比(SNR),定义为,

$$SNR = 10 \log_{10}(S_0 / \sigma) \quad (3)$$

2.3 分布式目标检测算法

DTDA 是一种高效、节能的分布式算法,这个算法能够有效地提高整个网络的目标监测性能。DTDA 算法基于决策融合,整个算法包括三层决策。首先,每个传感器节点基于它本身的测量值和和预先设定

的一个阈值做出一个初步的决策,这个决策二进制位 1 和 0 来分别表示监测到目标出现和监测到目标未出现,并且把自己的决策通过无线方式发送给它自己的邻居节点。每个节点接收和统计来自邻居节点的决策信息,并且根据 K-out-of-N 的准则做出第二次决策。最后,每个节点把自己第二次的决策值(1 或 0)发送给网络的决策中心,由整个网络的决策中心来做最后的判断和决策,确定目标或者事件是否发生(同样用 1 或 0 来表示)。

2.3.1 节点级决策

每个节点根据如下规则作出一个决策,

$$DL_i = \begin{cases} 1, & \text{if } x_i \geq T_{\text{sensor}} \\ 0, & \text{if } x_i < T_{\text{sensor}} \end{cases} \quad (4)$$

这里, T_{sensor} 是指给定的阈值。

2.3.2 邻域级决策

用 N_i 表示节点 i 的邻居节点集合,节点根据邻居节点发送过来的决策,然后根据 K-out-of-N 准则和式(5)再做一次判决,

$$DC_i = \begin{cases} 1, & \text{if } \sum_{j \in N_i} DL_j \geq K \\ 0, & \text{if } \sum_{j \in N_i} DL_j < K \end{cases} \quad (5)$$

2.3.3 网络级决策

在网络的决策中心,根据各个节点传送过来的邻域级决策结果,根据式(6)作出最终的判决

$$DG = \begin{cases} 1, & \text{if } \sum_{i=1}^N DC_i \geq T_{\text{global}} \\ 0, & \text{if } \sum_{i=1}^N DC_i < T_{\text{global}} \end{cases} \quad (6)$$

3 仿真结果及分析

通过 Matlab 仿真平台对上述算法的性能进行评估。仿真的设置如下。假定一目标位于监测区域的中心, $N = 100$ 个节点随机均匀地部署于监测区域。 PD 是指检测概率, PE_{max} 是给定的允许错报的概率阈值。为了不让随机性干扰结果,进行了 400 次平均处理。将 DTDA 与文献[5]中的两种算法(ODTA 和 LDTA)就检测与错报概率两个性能度量在模型 $M1$ 和 $M2$ 的情况下进行比较,结果图 1 和图 2 所示。在仿真中,目标信号初始值设为 $s_0 = 2$,高斯白噪声的标准差为 $\sigma = 0.4$,单个节点的错报率为 pf_{sensor} ,信号的衰减系数为 $\alpha = 0.1$ 。

从图 1 和图 2,可以看出在给定全局错报概率的阈值的情况下,DTDA 的检测概率在两种信号模型 $M1$ 和 $M2$ 情况下都最优。

从图 3 看出,在给定全局错报概率的阈值情况下,DTDA 的错报概率最低。从仿真可看出,

DTDA 性能优于文献[5]中的算法.

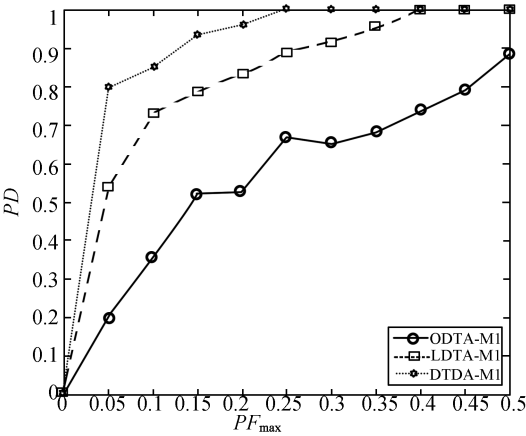


图 1 基于模型 M1 的 PD vs. PF_{max}

Fig. 1 PD vs. PF_{max} under model M1

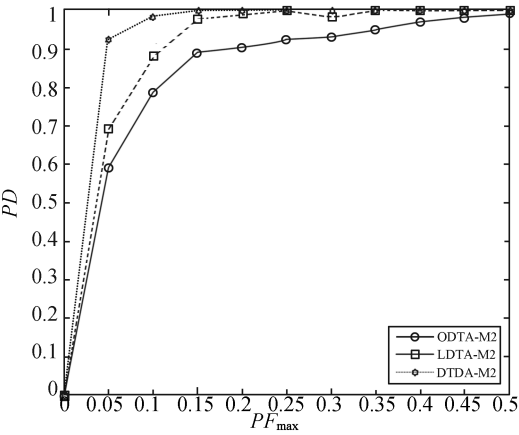


图 2 基于模型 M2 的 PD vs. PF_{max}

Fig. 2 PD vs. PF_{max} under model M2

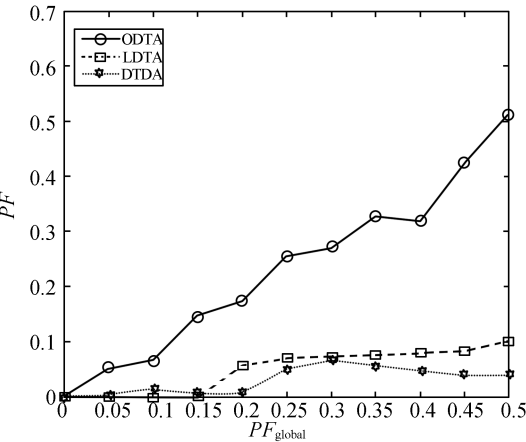


图 3 PF vs. PF_{global}

Fig. 3 PF vs. PF_{global}

4 结 论

本文面向核监测环境,运用无线传感器网络进行目标检测,基于数据融合理论,提出了一种分布式的目标检测算法 DTDA,它的性能通过与另外两种算法比较,结果表明 DTDA 的检测性能更优,且可应用于实际的核环境监测中.

参考文献:

[1] 柴竹新,吴宜灿,黄群英.核聚变装置辐射监控系统研究[J].核科学与工程,2005,25(4):367-373.

[2] 岳江峰,刘志勤,龚轩涛.无线传感器网络在核监测中的路由协议研究[J].计算机应用与软件,2009,26(12):209-211.

[3] Barbaran J,Diaz M,Esteve I. RadMote: a mobile framework for radiation monitoring in nuclear power plants[J]. International Journal of Electronics, Circuits and systems,2007,1(2):104-109.

[4] Varshney Pramod K. Distributed detection and data fusion[M]. New York: Springer-Verlag, LLC,1996.

[5] Yang Guanqun,Shukla V,Daji Qiao. Analytical study of collaborative information coverage for object detection in sensor networks[C]//SECON '08. 5th Annual IEEE Communications Society Conference. San Francisco, CA, 2008:144-152.

[6] Xiao Y,Chen H,Wu K, et al. Coverage and detection of a randomized scheduling algorithm in wireless sensor networks[J]. IEEE Transactions On Computers, 2010,59(4):507-521.

[7] Ferrari G,Martalo M,Pagliari R. Decentralized detection in clustered sensor networks[J]. IEEE Transactions On Aerospace and Electronic Systems, 2011, 47(2):959-973.

[8] Liu L,Zhang X,Ma H. Optimal node selection for target localization in wireless camera sensor networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2010, 59(7):3562-3576.

[9] Wang Z,Bulut E,Szymanski B K. A distributed cooperative target tracking with binary sensor networks[C]//IEEE International Conference on Communication (ICC) Workshops. IEEE,2008:306-310.

[10] Wang B. Coverage problems in sensor networks:a survey[J]. ACM Computing Surveys,2011,43(4):1-56.