

二进制无线传感器网络目标跟踪问题的研究

孙晓艳^{1,2} 李建东¹ 黄鹏宇¹ 陈 婷¹

(西安电子科技大学综合业务网理论和关键技术国家重点实验室 信息科学研究所宽带

无线通信实验室 西安 710071)¹

(西安外事学院信息工程学院 西安 710077)²

摘 要 无线传感器网络是近几年发展起来的一门新技术,其研究的重点之一是目标跟踪问题。二进制传感器网络由于其低廉的布设代价、体积小、低能耗以及传感器节点简单,正得到越来越多的关注并用于目标跟踪。目前二进制无线传感器网络中的目标跟踪方法主要分为两大类:基于分段线性拟合的方法和基于粒子滤波的方法。现分别归纳总结现有二进制无线传感器网络中目标跟踪的两大类方法的研究成果并指出其优缺点以及未来的研究方向或需要完善的工作。

关键词 二进制无线传感器网络,跟踪,分段线性拟合,粒子滤波

中图分类号 TN915.04 **文献标识码** A

Overview on Target Tracking Methods in Binary Wireless Sensor Networks

SUN Xiao-yan^{1,2} LI Jian-dong¹ HUANG Peng-yu¹ CHEN Ting¹

(Broadband Wireless Communications Laboratory, Information Science Institute State Key Laboratory of Integrated Service Networks,

Xidian University, Xi'an 710071, China)¹

(College of Information Engineering, Xi'an International University, Xi'an 710077, China)²

Abstract Wireless sensor networks are one of new technologies in recent years and target tracking in the networks is one of the research emphases. The binary sensor networks are becoming more attractive due to the low cost deployment, small size, low energy consumption and simple operation and data communication of the sensors. Therefore, it is taken into consideration in target tracking. The methods availably used in target tracking of binary wireless sensor network can be cataloged into two classes, piecewise linear approximation based method and particle filter based method. The current research results were analytically presented, and the future work was also pointed out.

Keywords Binary sensor networks, Tracking, Piecewise linear approximation, Particle filter

1 引言

无线传感器网络是当前国际上备受关注的、由多学科高度交叉的新兴前沿研究热点领域。无线传感器网络综合了传感器技术、嵌入式计算技术、分布式信息处理技术、现代网络及无线通信技术等,能够通过各类集成化的微型传感器协作地实时监测、感知和采集各种环境或监测对象的信息,通过嵌入式系统对信息进行处理,并通过随机自组织无线网络以多跳中继方式将所感知的信息传送到用户终端^[1]。

无线传感器网络是由大量节点形成的一种特殊 Ad-hoc 网络,其目的是协作地感知、采集和处理网络覆盖区域中感知对象的信息,并发送给观测者。它将逻辑上的信息世界与真

实物理世界融合在一起,改变人与自然的交互方式^[2]。

无线传感器网络具有十分广阔的应用前景,在军事国防、工农业、城市管理、生物医疗、环境监测、抢险救灾、反恐、危险区域远程控制等许多领域都有重要的科研价值和巨大的实用价值,已经引起了世界许多国家军界、学术界和工业界的高度重视,成为公认的新兴前沿热点研究领域,被认为是对 21 世纪产生巨大影响力的技术之一^[3]。

综合无线传感器网络的各种实际应用研究,目前发展比较成熟的是环境监测,而目标跟踪的研究才刚刚起步。最早的无线传感器网络系统跟踪实验是美国 DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) 的 SensIT 项目中的一些跟踪方法的实现。现在的很多跟踪应用方案依然处于研究阶

到稿日期:2009-03-17 返修日期:2009-06-10 本文受国家杰出青年科学基金(60725105),国家重点基础研究发展计划(973 计划)课题(2009CB320404),“长江学者和创新团队发展计划资助”(IRT0852),863 计划课题(2007AA01Z217),863 计划课题(2007AA01Z288),国家重点实验室专项基金(ISN01080301),国家重点实验室专项基金(ISN02080001),“高等学校创新引智计划”(B08038),国家自然科学基金项目(60572146),教育部科学技术研究重点项目(107103)资助。

孙晓艳(1979—),女,博士生,讲师,研究方向为无线传感器网络目标跟踪、ad hoc 自组织网络,E-mail:raspberrry2004@163.com;李建东(1962—),男,教授,博士生导师,研究方向为宽带 IP 技术、移动通信、软件无线电、ad hoc 自组织网络等;黄鹏宇(1976—),女,博士生,讲师,研究方向为通信系统仿真、ad hoc 自组织网络、传感器网络;陈 婷(1982—),女,博士生,研究方向为无线通信、新一代无线网络的跨层结构设计。

段。

二进制无线传感器网络由于其部署代价低、体积小、能耗低以及传感器节点操作和数据通信简单,正引起越来越多的关注^[4,5]。与此同时,二进制无线传感器网络比采用复杂、昂贵的传感器节点更能持续监测较大地理范围的区域。本文主要对现有关于二进制无线传感器网络目标跟踪问题的研究成果进行归纳和总结,指出现有研究成果的优缺点以及进一步的研究方向或需要完善的工作。本文第1节是前言;第2节介绍二进制传感器网络;第3节归纳总结现有二进制传感器网络目标跟踪问题的研究成果;最后指出现有研究成果的优缺点和进一步的研究内容。

2 二进制传感器网络

二进制传感器网络是指网络中的传感器节点将感测到的任何信号,例如电磁信号、声信号、红外信号等均表示为1比特信息。目前这1比特信息的含义主要有以下两种:

1) 近似比特(proximity bit)法。相应的文献中将传感器节点称为二进制近似传感器。此时,“1”比特表示目标或监测的事件位于当前传感器节点的感测范围内;“0”比特表示目标或监测事件不在当前传感器节点的感测范围内。

2) 远离/到达比特法。它是目标或监测事件到当前感测传感器节点的欧几里德距离矢量关于时间导数的符号。“1”比特表示目标正接近当前进行感测的传感器节点;“0”比特表示目标正远离当前进行感测的传感器节点。由此,也出现了正传感器节点(plus sensor)和负传感器节点(minus sensor)的定义。目标朝向运动的传感器节点为正传感器节点;目标背离运动的传感器节点为负传感器节点。

在传感器网络跟踪问题中采用这样的二进制传感器网络具有重大的实际意义^[6]。首先,在二进制传感器网络中对传感器节点的感测能力进行了最小假设,这使得一系列广泛应用的基本跟踪框架变得简单且具有鲁棒性。与此同时,在网络中存在目标速度或距离等额外信息的特定应用环境中,还可以利用这些信息进一步提高性能。其次,对于二进制传感器的通信要求是最小的,即每个传感器节点在目标位于其感测范围内时,将对自己感测到的噪声观测值进行平滑并将平滑结果表示为一个或多个离散的时间间隔的输出。最后,模型的简单性可以直观地推导性能限,从而指导跟踪算法的设计并为更复杂的传感器网络的跟踪性能提供性能下限。

3 二进制传感器网络跟踪方法

在无线传感器网络的许多应用中,跟踪运动目标是一项基本功能。由于传感器节点体积小,价格低廉,采用无线通信方式以及传感器网络的随机部署具有自组织性、鲁棒性和隐蔽性等特点,因此无线传感器网络非常适合于运动目标的定位和跟踪。

按照跟踪对象数量不同^[7],无线传感器网络的目标跟踪可以分为单目标跟踪和多目标跟踪;按照目标形状的不同,可以分为点目标跟踪和面目标跟踪;按照目标或监测事件的运动方式的不同,可以分为静态目标的侦测和移动目标的跟踪。

目前在二进制传感器网络中,跟踪问题的研究主要集中于点目标的单目标和多目标的动态跟踪。其具体的研究方法大致可以分为以下3类:

1) 分段线性拟合类方法;

2) 粒子滤波类方法;

3) 其他方法,包括虚拟测量映射和图论等方法。

其中分段线性拟合方法简单,易实现,但精度不高。粒子滤波方法是目前学术界讨论较多的跟踪方法,精度高,但计算复杂度也高。第3类方法主要是从数学的角度出发试图解决分段线性拟合和粒子滤波方法中所出现的问题,但引入的计算量大,复杂度高,跟踪精度也没有显著的提高。下面将主要介绍二进制传感器网络中分段线性拟合类和滤波类的目标跟踪算法。

3.1 分段线性拟合类算法

3.1.1 基本原理

分段线性拟合方法是二进制传感器网络目标跟踪方法中最简单的方法,但是它没有充分利用传感器节点的信息,因为即使是没有感测到目标的传感器节点信息,也可以为提高跟踪精度做出贡献。

文献[8]给出了分段线性拟合的基本原理。当目标在传感器网络中做直线运动时,在感测到目标的传感器节点坐标所组成的集合中,利用目标做直线运动的原理,拟合出直线方程 $y=ax+b$,即为目标的运动轨迹。求解参数 a 和 b 最主要的方法是利用最小二乘法,从而确定出方程,而用此方程也可以预测出目标未来时刻的坐标位置。

利用最小二乘法求解拟合直线方程参数的本质就是使得拟合的残差平方和 Q 最小,其中 Q 的表达式为

$$Q = \sum_{k=1}^n (y_k - a - bx_k)^2 \quad (1)$$

其中, y_k 和 x_k 是感测到目标的所有传感器节点的坐标。

上式分别对 a 和 b 求偏导数,得

$$\frac{\partial Q}{\partial a} = -2 \sum_{k=1}^n (y_k - a - bx_k) \quad (2)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial b} = -2 \sum_{k=1}^n x_k (y_k - a - bx_k) \quad (3)$$

分别令式(2)和式(3)为0,则可求出拟合参数为

$$b = \frac{\sum_{k=1}^n (x_k - \sum_{k=1}^n x_k / n) (y_k - \sum_{k=1}^n y_k / n)}{\sum_{k=1}^n (x_k - \sum_{k=1}^n x_k / n)^2} \quad (4)$$

$$a = \sum_{k=1}^n y_k / n - b \sum_{k=1}^n x_k / n \quad (5)$$

由于线性拟合算法只适用于目标的运动轨迹为直线的情况,当目标的运动轨迹为曲线时,线性拟合算法并不适用。这时需要把线性拟合算法加以推广,采用分段线性拟合来实现对目标的跟踪。分段线性拟合算法的思想与线性拟合算法基本相同,都是利用目标历史数据拟合直线方程;它与线性拟合法的最大不同就是,它的直线参数不是固定的,而是随着目标的运动不断更新拟合直线的参数。用这种方法进行轨迹预测时,即使是缓慢变化的非平稳过程,也能做到随统计数据的变化而变化,从而达到精确跟踪的目的。

3.1.2 相关算法

Kirill Mechitov 首次在文献[9]中给出了分段线性拟合方法在二进制传感器网络室外环境中跟踪人或机动车辆的应用——协同跟踪算法(Cooperative Tracking)。在文献中,传感器节点对目标的感测采用二进制近似比特。假定目标匀速以直线穿网络,传感器节点除了对目标进行二进制感测外,还可以记录感测时间,所以邻节点间的交互信息除了二进制

近似比特外,还有每个感测节点的位置信息和感测时间,其具体的协同跟踪算法如下:

- 1) 每个节点记录目标在其感测范围内停留的时间 t_k ;
- 2) 邻节点交互自身位置信息及其感测的时间信息;
- 3) 每个时刻点目标的位置估计值为各个感测传感器位置的加权平均,即对 3.1.1 节中的式(4)和式(5)做如下改进:

$$b = \frac{\sum_{k=1}^n (w_k x_k - \sum_{k=1}^n w_k x_k / n) (\sum_{k=1}^n w_k y_k / n)}{\sum_{k=1}^n (\sum_{k=1}^n w_k x_k / n)^2} \quad (6)$$

$$a = \sum_{k=1}^n w_k y_k / n - b \sum_{k=1}^n w_k x_k / n \quad (7)$$

其中, $\sum_{k=1}^n w_k = 1$ 。

文中,作者通过仿真比较了 3 种不同的加权机制:

- 1) 各个感测传感器节点的权值相同;
- 2) 各个感测传感器节点的权值与目标到相应感测传感器的距离成反比;
- 3) 启发式加权机制,即各个感测传感器的权值 $w_k = \ln(1 + t_k)$ 。

仿真证明,第一种加权机制性能最差;第二种加权机制性能最好;第三种加权机制虽然减小了远离目标轨迹的感测传感器所引入的误差和不精确度,但性能比第二种加权机制差。

Kim Woo-Young 在文献[10]中主要考虑的是二级平面结构的传感器网络,即节点分为两类:探测节点和跟踪节点。其中探测节点进行信息检测;跟踪节点为计算能力更强的节点,它负责处理检测到的信息并估计目标的位置。作者针对这种二级平面结构提出基于了路径估计的目标跟踪算法(Path-based Target Tracking)。该算法考虑二进制近似传感器并且采用二级网络结构,目标随意移动,随时都可能改变运动速度和运动方向,假设传感器节点可以记录感测时间。其具体算法包括以下 4 个步骤:

- 1) 每个传感器记录持续的探测时间;
- 2) 在跟踪节点处对探测时间、节点位置和探测的持续时间进行融合;
- 3) 对当前检测节点的融合数据进行赋值,然后产生当前的路径点;
- 4) 确定给定窗口内最适合路径点的直线;
- 5) 利用速度和直线估计确定目标位置。

在基于路径估计的目标跟踪算法中,作者提出了基于距离的加权机制,并利用该机制先产生当前时刻的目标位置估计;然后结合上一时刻已经产生的路径拟合参数(a 和 b)对感测节点权值进行修正,再重新计算当前时刻的目标位置估计;最后用权值修正后的目标位置估计点进行线性拟合。这是一种动态的加权机制,也是一种基于历史信息的加权机制。与此同时,该加权机制还平衡了计算代价与跟踪精度。

N. Shrivastava 在文献[6]中首先探讨了在二维区域内采用二进制近似传感器进行目标跟踪的基本性能限,即当采用理想模型进行几何和概率分析时,定位目标轨迹可获得的空间分辨率 $\Delta = 1/(\rho R)$,其中 R 为传感器的感测半径, ρ 为单位面积内传感器密度。其次,作者将二进制感测和采样定理进行比较,得出在二进制近似传感器网络中只能获得目标轨迹的低通近似。然后,讨论了在二进制近似传感器网络中速度估计的误差。最后,根据定位块的概念(如图 1 所示)提出

OCCAM 跟踪算法,即采用 OCCAM 剃刀方法保证分段线性拟合出的目标轨迹由最少的直线段组成并经过所有的定位块。

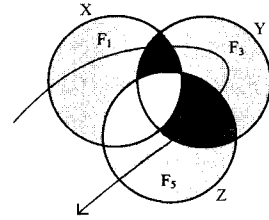


图 1 目标跟踪中定位块的概念

OCCAM 剃刀跟踪算法是针对理想传感器模型提出的,仿真实验表明它可以达到已经证明的性能限。而对于非理想的传感器模型,也就是说,当传感器节点能够感测到其最小感测范围以外的目标或不能感测到其感测范围内的目标时,作者首先采用粒子滤波算法产生与感测节点观测值一致的具有鲁棒性的轨迹估计。但由于粒子滤波算法的结果不能保证是关于目标轨迹的最小描述,因此应将粒子滤波与 OCCAM 跟踪算法相结合产生更经济的目标轨迹估计。

3.1.3 算法比较

分段线性拟合类的二进制传感器网络目标跟踪算法中,比特信息均为近似比特。文献[9]中所提出的协同跟踪方法主要验证了线性拟合方法用于目标跟踪的可行性,并证明基于距离的加权机制是最有效的加权方法。文献[10]所提出的基于路径的跟踪方法根据目标轨迹的路径信息对节点的加权值连续取精进行修正以提高估计精度。文献[9]和文献[10]中的方法需要网络内节点同步,并且目标以恒定的速度做直线运动。

文献[6]没有采用加权机制而是根据定位块的概念联合采用 OCCAM 算法和线性拟合来保证最终的目标轨迹经过所有的定位块。但是该方法需要指定跟踪节点。跟踪节点首先收集各感测传感器节点的信息,然后进行计算,估计目标轨迹,且计算复杂,因此,该方法是中心式的,计算复杂度高,且不能实现实时跟踪。表 1 列出了分段线性拟合类目标跟踪算法的比较。

表 1 分段线性拟合类目标跟踪算法比较

算法	网络结构	实现
协同跟踪	一级平面	三种不同的加权值分别拟合估计
基于路径跟踪	二级平面	路径信息修正距离加权的拟合估计
OCCAM 跟踪	一级平面	OCCAM 修正定位块的拟合估计

3.2 粒子滤波类算法

3.2.1 基本原理

在二进制传感器网络目标跟踪问题中,由于传感器节点在感兴趣的事件发生时只传送二进制比特,因此到达网络融合中心处的数据是高度压缩的,给恢复感测信息提出了挑战。目前很多二进制传感器网络目标跟踪问题的研究中出现了粒子滤波算法,它不像其他的滤波算法那样严格要求系统为线性的,且噪声特性为高斯的。下面首先介绍粒子滤波算法的基本思想和步骤^[11]。

目前研究中碰到的许多科学问题都需要用随时间推移的噪声观测值来估计系统状态,因此需要对时序的动态系统进行建模,通常采用状态空间的方法。这种方法便于处理多元数据和非线性/非高斯过程,并且它相对于传统处理时序动态

系统的方法具有明显的优势。为了对动态系统进行分析 and 推导,至少需要两个模型:

- 描述随时间变化的状态变化方程;
- 关联噪声测量值和系统状态的方程。

假设这两个模型可以以概率的形式得到,贝叶斯方法正是概率型状态空间形成和新的测量值更新的最理想的方法。但是,在许多应用中需要每次收到新的测量值就进行状态估计,并且每次都要重新计算所有的测量值,这就需要存储所有的测量值。递归滤波方法是贯序处理接收到的数据而无需存储完整的数据集合,也不需要出现新的测量值时重新处理现有的所有数据。

粒子滤波算法就是对上述滤波方法的总结,它是通过蒙特卡罗仿真实现的递归贝叶斯滤波器,如果用 x_k 表示状态序列, z_k 表示观测值, w_i 表示粒子的权值, N_i 表示粒子数,其基本思想就是基于所有可用的测量值 z_k 寻找滤波后的状态估计 x_k ,则粒子滤波通用框架的伪随机码如表 2 所列。

表 2 粒子滤波通用框架的伪随机码

粒子滤波
$\llbracket \{x_k^i, w_k^i\}_{i=1}^{N_i} \rrbracket = \text{SIS} \llbracket \{x_{k-1}^i, w_{k-1}^i\}_{i=1}^{N_i}, z_k \rrbracket$
• FOR $i=1:N_i$
Draw $x_k^i \sim q(x_k x_{k-1}^i, z_k)$;
Assign the particle a weight:
$w_k^i = w_{k-1}^i \frac{p(z_k x_k^i) p(x_k^i x_{k-1}^i)}{q(x_k^i x_{k-1}^i, z_k)}$
• END FOR
• Calculate total weight:
$t = \text{SUM} \llbracket \{w_k^i\}_{i=1}^{N_i} \rrbracket$
• FOR $i=1:N_i$
Normalize: $w_k^i = t^{-1} w_k^i$
• Resampling
• END FOR

粒子滤波方法充分利用了所有传感器节点的信息,跟踪精度高,但是计算量较大,尤其是在多目标跟踪实现中。

3.2.2 相关算法

Javed Aslam 在文献[12]中针对二进制传感器网络的几何特性提出了粒子滤波类的目标跟踪算法。假设每个传感器的比特信息都存储在一个中心存储器中,目标随机运动。作者采用正负传感器的概念分析了二进制传感器网络所具有的几何特性,并以此对目标跟踪问题进行求解,其中的粒子为目标朝向某个位置移动的概率。此外,还分析了二进制传感器网络的跟踪门限,并指出每个传感器节点若可以再额外增加一个近似比特,就可以克服这个门限。

Petar M. Djuric 在文献[13]中采用二进制近似传感器网络在二维空间跟踪机动车辆,其运动模型采用包括位置、速度、加速度的离散模型来描述。粒子为从目标离散运动模型中提取出来的包括位置、速度和加速度的矢量。除此之外,作者还给出了该粒子滤波算法的后验克拉美罗下界。

Jaspreet Singh 在文献[14]中实现了二进制近似传感器网络多目标跟踪的粒子滤波算法。多个目标在一定的范围内随机选择运动速度并恒定地以直线方式经过网络。作者提出了 ClusterTrack 算法:首先对网络的几何特性进行讨论,解决了如何区分目标并确定目标的数量;然后给出基于代价函数的粒子滤波算法,其中粒子为每个时刻点每个目标的位置估计。

Mahesh Vemula 在文献[15]中采用了二进制近似传感器,网络中有固定的融合中心。目标运动采用与文献[13]中相同的离散模型描述。本文的创新之处在于传感器节点所产生的 1 比特信息是根据自适应的门限而产生的,并通过仿真进行比较,给出自适应调整方案。这里粒子的选取同文献[13]。

Peta M. Djuric 在文献[16]中采用了二进制近似传感器,且网络中存在中心处理单元。中心处理单元不仅要目标的轨迹进行估计,而且要对目标的速度和发射功率进行估计。目标的运动模型和粒子选取同文献[13]。为了在二进制传感器网络中实现关于目标的多种参数的估计,作者提出并实现了辅助粒子滤波(auxiliary particle filtering)和代价参考粒子滤波(cost-reference particle filtering)的跟踪算法。作者还将所提出的方法扩展到恒定参数的估计,并推导了状态的后验克拉美罗下界。

3.2.3 算法比较

对于现有的二进制传感器网络目标跟踪的粒子滤波方法的应用场景,网络均为中心式的且基于 3.2.1 节中表 2 所述的粒子滤波的通用框架。但各种方法采用了不同的运动模型,且由应用场景或实现目标的不同而根据不同的原则选取粒子并采用不同维数的粒子实现目标跟踪。

结束语 在二进制传感器网络研究中,大多数研究采用的传感器为二进制近似传感器。因为这种二进制传感器相对于可以判断目标运动趋势的传感器更简单,造价更低廉,更适用于大规模的应用。表 3 列出了粒子滤波类目标跟踪算法的比较。

表 3 粒子滤波类目标跟踪算法比较

算法	粒子维数	粒子选取原则	比特含义	目标数
文献[12]	1	基于网络集合拓扑	远离/到达比特	单目标
文献[13]	4	无	近似比特	单目标
文献[14]	1	无	近似比特	多目标
文献[15]	4	无	近似比特	单目标
文献[16]	4	无	近似比特	单目标

目前已有的目标跟踪问题的研究成果中,分段线性拟合方法是最简单的,但是它没有充分利用网络中所有的可用信息。因为即使没有检测到目标的传感器节点,对目标轨迹的形成也有贡献;粒子滤波方法充分利用了网络中的所有信息,但计算复杂度大。其他的方法也在不同程度上具有计算复杂度的问题。除了计算复杂度之外,目前的研究成果存在如下问题:

1) 目标运动模型不统一,各种方法没有可比性。即使是采用同一种目标运动模型的不同跟踪算法,也没有在同一度量标准下进行比较。

2) 在跟踪算法的研究中,有的算法虽然提出节点协同跟踪目标,但没有充分考虑网络特性,没有给出具体的协同方案。

所以在今后的研究中,首先应统一各种二进制传感器网络目标跟踪算法中的目标运动模型,从而对各种算法进行定量分析;其次,在各种算法中引入传输时延等影响,跟踪算法实时性的网络参数,对各种算法进行全面性能分析。

(下转第 64 页)

and analysis of attack graphs[C]//Proceeding of the 2002 IEEE Symposium on Security and Privacy. Oakland, CA, May 2002

- [3] Mell P, Scarfone K, Romanosky S. Common Vulnerability Scoring System[J]. IEEE Security & Privacy, 2006, 4(6): 85-89
- [4] Suvajit G, Winstead J. Using Attack Graphs to Design Systems [J]. IEEE Security & Privacy, 2007, 5(4): 80-83
- [5] Frigault M, Wang L. Measuring Network Security Using Bayesian Network-based Attack Graphs[C]//Proceedings of the 32nd Annual IEEE International Computer Software and Applications Conference (COMPSAC2008). August 2008; 698-703
- [6] Frigault M, Wang L, Singhal A, et al. Measuring Network Security Using Dynamic Bayesian Networks[C]//Proceedings of the 4th ACM Workshop on Quality of Protection. Alexandria, Virginia, USA, October 2008; 23-30
- [7] 冯萍慧, 连一峰, 戴英侠, 等. 基于可靠性理论的分布式系统脆弱性模型[J]. 软件学报, 2006, 17(7): 1633-1640
- [8] 王永杰, 鲜明, 刘进, 等. 基于攻击图模型的网络安全评估研究[J]. 通信学报, 2007, 28(3): 29-34
- [9] 贾炜, 连一峰, 冯登国, 等. 基于贝叶斯网络近似推理的网络脆弱性评估方法[J]. 通信学报, 2008, 29(10): 191-198

- [10] Chen J, Greiner R, Kelly J, et al. Learning Bayesian networks from data: An information-theory based approach[J]. Artificial Intelligence, 2002, 137(1/2): 43-90
- [11] Computer Immune Systems Data sets[EB/OL]. <http://www.cs.unm.edu/~immsec/data-sets.htm>
- [12] Abbas T, Bouhoula A, Rusinowitch M. A Traffic Classification Algorithm for Intrusion Detection[C]//Proceedings of 21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops. May 2007; 188-193
- [13] 赵峰, 李庆华, 金利. 多维流序列并行预测算法研究[J]. 小型微型计算机系统, 2007, 28(2): 333-336
- [14] Warrender C, Forrest S, Pearlmuter B. Detecting Intrusions Using System Calls: Alternative Data Models[C]//Proceedings of 1999 IEEE Symposium on Security and Privacy. Oakland, USA, September 1999; 133-145
- [15] Mehta V, Bartzis C, Zhu H, et al. Ranking Attacking Graphs[C]//Proceedings of 9th International Symposium on Recent Advances in Intrusion Detection (RAID2006). Hamburg, Germany, September 2006; 127-144

(上接第 22 页)

参 考 文 献

- [1] Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramanian Y, et al. Wireless Sensor Networks: A Survey[J]. Computer Networks, 2002, 38(4): 393-422
- [2] 刘敏珏, 吴泳, 伍卫国. 无线传感器网络(WSN)研究[J]. 微电子学与计算机, 2005, 22(7): 58-61
- [3] 孙利民, 李建中, 陈渝, 等. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005
- [4] Doherty L, Warneke B A, Boser B E, et al. Energy and performance considerations for smart dust[J]. International Journal of Parallel and Distributed Systems and Networks, 2001, 4: 121-133
- [5] Pradhan S, Kusuma J, Ramchandran K. Distributed compression in a dense micro-sensor network[J]. IEEE Signal Processing Magazine, March 2002; 51-60
- [6] Shrivastava N, Mudumbai R, Madhow U, et al. Target Tracking with Binary Proximity Sensors: Fundamental Limits, Minimal Descriptions, and Algorithms[A]//Proceedings of the 4th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems [C]. 2006; 251-264
- [7] 袁红梅, 杨震. 基于无线传感器网络的活动目标跟踪[J]. 现代电子技术, 2006(19): 7-10
- [8] 宋超凡, 董慧颖. 基于传感器网络的分段线性拟合跟踪算法研究[J]. 沈阳理工大学学报, 2007, 26(2)
- [9] Mechtov K, Sundresh S, Kwon Y, et al. Cooperative Tracking with Binary-Detection Sensor Networks[R]. UIUCDCS-R-2003-279. Department of Computer Science, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2003
- [10] Kim WooYoung, Mechtov K, Chol J-Y, et al. On Target Tracking with Binary Proximity Sensors[A]//4th International Conference on Information Processing in Sensor Networks[C]. Los Angeles, CA, USA, April 2005
- [11] Arulampalam M S, Maskell S, Gordon N, et al. A Tutorial on Particle Filters for Online/Non-Gaussian Bayesian Tracking[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2002, 50(2)
- [12] Aslam J, Butler A, Comstantin F, et al. Tracking a Moving Object with a Binary Sensor Network[A]//Proc. ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems[C]. 2003; 150-161
- [13] Djuric P M, Vemula M, Bugallo M F. Signal Processing by Particle Filtering for Binary Sensor Networks[A]//Proc. IEEE 11th Digital Signal Processing Workshop & IEEE Signal Processing Education Workshop. 2004; 263-267
- [14] Singh J, Kumar R, Cagler R. Tracking Multiple Targets Using Binary Proximity Sensors[A]//Proceedings of the 6th International Conference on Information Processing in Sensor Networks [C]. April 2007; 529-538
- [15] Vemula M, Bugallo M F, Djuric P M. Particle Filtering - based Target Tracking in Binary Sensor Networks Using Adaptive Thresholds[A]//Proc. 2th IEEE International Workshop on Computational Advances in Multi-sensor Adaptive Processing [C]. Dec. 2007; 17-20
- [16] Djuric P M, Vemula M, Bugallo M F. Target Tracking by Particle Filtering in Binary Sensor Networks[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2008, 56(6): 2229-2238