

无线传感网络中的目标跟踪技术

Target Tracking Technologies in Wireless Sensor Networks

刘博/LIU Bo

(南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003)
(Nanjing University of Posts and Telecommunications College of Communication and Information Engineering, Nanjing 210003, China)

中图分类号: TP92 文献标识码: A 文章编号: 1009-6868 (2008) 01-0048-03

摘要: 无线传感器网络由于其自组织性、鲁棒性及节点数量巨大的特点, 非常适合于目标跟踪。无线传感器网络目标跟踪大体分为单目标跟踪与多目标跟踪。单目标跟踪主要采用二元检测协作跟踪、信息驱动协作跟踪、传送树跟踪算法等方法。多目标跟踪采用对偶空间转换算法等方法。在无线传感器网络目标跟踪中, 跟踪精度、跟踪能量消耗和跟踪可靠性是需要考虑的主要问题。

关键词: 无线传感器网络; 目标跟踪; 自组织

Abstract: The Wireless Sensor Network (WSN), because of its self-organizing characteristic, robustness and huge quantity of nodes, is perfectly suitable for target tracking. Now, there are two main aspects of target tracking in the WSN—single-target tracking and multi-target tracking. Cooperative tracking with binary-detection, information-driven dynamic collaboration, and dynamic convey tree-based collaboration are designed for single-target tracking. Dual-space approach is for multi-target tracking. Tracking precision, reliability and energy consumption are the most important issues in the WSN tracking requiring thorough consideration.

Key words: wireless sensor networks; target tracking; self-organizing

在无线传感器网络的许多实际应用中, 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, 以及传感器网络部署随机, 具有自组织性、鲁棒性和隐藏性等特点, 无线传感器网络非常适合于移动目标的定位和跟踪^[1]。例如在战场上及时跟踪敌方的车辆的行进路线和兵力的调动情况, 将获取的战场信息及时发送回我方指挥中心。

按照跟踪对象的数量不同, 无线传感器网络的目标跟踪可以分为单

节点协作跟踪同一个目标。传感器节点交换侦测数据, 确定目标的位置和运动轨迹, 预测目标的运动方向, 并通过一定的唤醒机制使得目标运动方向上的节点及时加入跟踪过程。单目标跟踪是多目标跟踪的基础, 目前无线传感器网络的目标跟踪研究主要集中于单目标跟踪。

1 单目标跟踪

1.1 二元检测协作跟踪

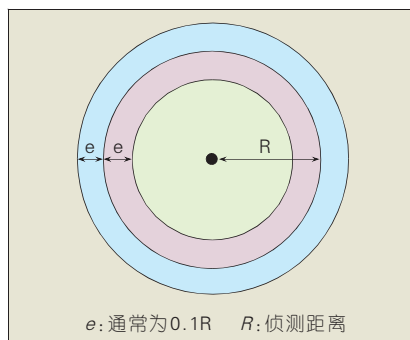
二元检测目标跟踪^[2]中传感器只有两种侦测状态: 目标处在传感器侦测距离之内或目标处在传感器侦测距离之外。图1给出了这种二元传感器的模型, 其中实心点表示传感器节点。对于节点的侦测距离 R , 当目标传感器节点的距离在 $(R - e)$ 之内时总会被检测到, 当目标距节点距离在 $(R + e)$ 之外时不会被检测到, 当目标距节点距离在 $(R - e)$ 和 $(R + e)$ 之间时以一定的概率被检测到。通常情况下 $e = 0.1R$ 。

二元检测传感器不能检测到目标的距离, 只能判断目标是否在侦测范围内。因此检测到目标的节点只能确定包含目标的圆形区域, 需要多个节点协作才能确定目标的位置信息。当目标进入侦测区域后, 在节点足够密集的情况下, 任何时刻都有多个节点同时侦测到目标的位置区域。这些节点侦测范围的重叠区域是一个相对较小的区域, 目标就处于这个重叠区域内, 这样, 就能相对精确的确定目标位置。

基于二元检测的协作跟踪适用于简单低廉的传感器节点, 并通过大量密集部署节点保证跟踪精度。基于二元检测的协作跟踪需要节点间的时钟同步, 并要求节点知道自身的位置信息。

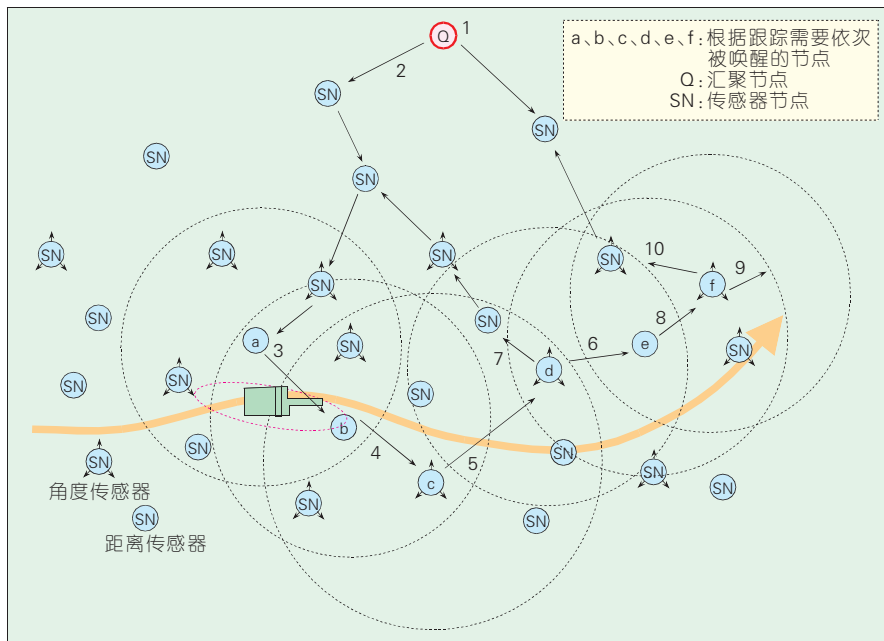
1.2 信息驱动协作跟踪

对移动目标的侦测、分类、跟踪通常需要传感器节点进行协作。对节



▲ 图1 二元检测传感器模型图

目标跟踪和多目标跟踪。单目标跟踪是指无线传感器网络的多个或全部



▲图2 信息驱动的协作跟踪示意图

点跟踪数据的融合能够有效的提高跟踪精度。通过选择合适的节点进行协作能降低节点间的数据通信量,从而节省节点能量和通信带宽。

信息驱动协作跟踪^[3]的核心思想就是传感器节点利用自己探测到的信息和接收到的其他节点的探测信息判断目标可能的运动轨迹,唤醒合适的传感器节点在下一时刻参与跟踪活动。由于使用了合适的预测机制,信息驱动的协作跟踪能够有效地减少节点间的通信量,从而节省节点有限的能量资源和通信资源。

图2表示了一个信息驱动的协作跟踪实例。网络中包含两类传感器节点,分别装有角度传感器和距离传感器。图2中的粗箭头表示目标穿过传感器网络的轨迹,圆形区域为传感器节点的探测范围,用户通过汇聚节点(如图2中节点Q)查询目标跟踪信息,要求传感器网络每隔一段时间报告一次位置。传感器网络中任何时刻至少有一

个节点处于活动状态,负责存放当前目标跟踪状态信息,这个节点称为跟踪节点。随着目标移动,当前跟踪节点负责唤醒并将现有的跟踪信息传递给下一个跟踪节点。目标进入传感器区域时,离目标最近的节点a获得目标位置的初始估计值,并计算出下一时刻节点b进行跟踪能够保证探测数据的精度,使自己到节点b的通信代价在规定的范围内,则将获得的目标位置估算值传给节点b。b使用相同的标准选择下一个跟踪节点c,这个过程不断重复直到目标离开传感器网络探测区域。每隔一段时间节点就

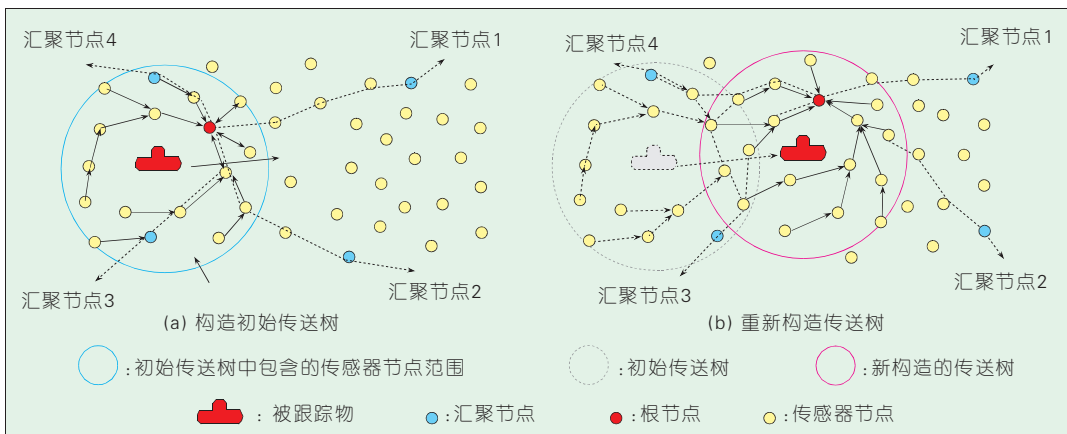
将目标位置信息返回给汇聚节点。

1.3 传送树跟踪算法

目前大多数传感器网络跟踪算法都是集中式的,跟踪信息需传送到数据中心去进行综合处理。基于传送树的跟踪算法是一种分布式算法,节点只在本地收集数据并通过局部节点交换信息以完成目标跟踪。

传送树是一种由移动目标附近的节点组成的动态树型结构^[4],并且会随着目标的移动动态地添加或者删除一些节点。移动目标附近的节点通过传送树结构进行协作跟踪,在保证对目标进行高效跟踪的同时减少节点间的通信开销。

图3表示通过传送树进行目标跟踪的过程。如图3(a)所示,目标进入探测区域时,在探测到目标的传感器节点中选举一个根节点,并构造出初始传送树,如图3(a)中蓝色实线圈中的节点。传送树上每个节点周期性发出探测信息,并传送到根节点。根节点收集传送树上所有节点的探测报告,进行数据融合处理,并将处理结果发送到汇聚节点。随着目标的移动,传送树删除那些距离目标越来越远的节点,如图3(b)中红色实线圈外虚线圈内的节点,并且唤醒目标移动方向上的节点将其加入传送树。当目标与根节点的距离超过一定阈值时,需要重新选举根节点并重新构造传送树,如图3(b)中红色实线圈中节点。



▲图3 基于动态传送树的目标跟踪示意图

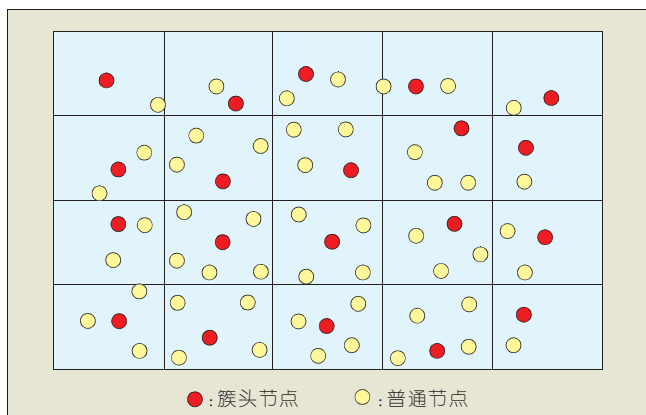


图4
分簇结构传感器网络
示意图

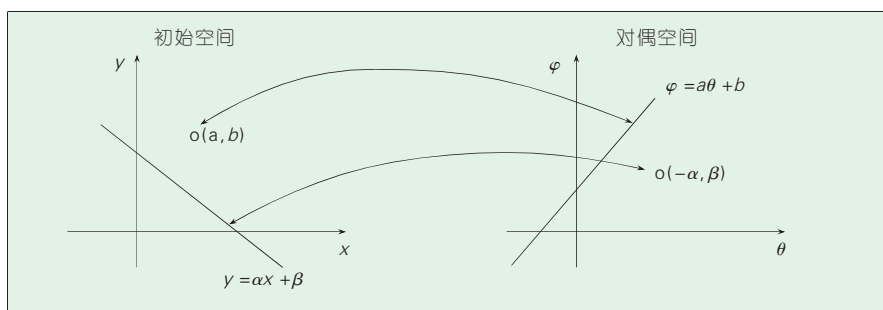


图5 初始空间与对偶空间映射示意图

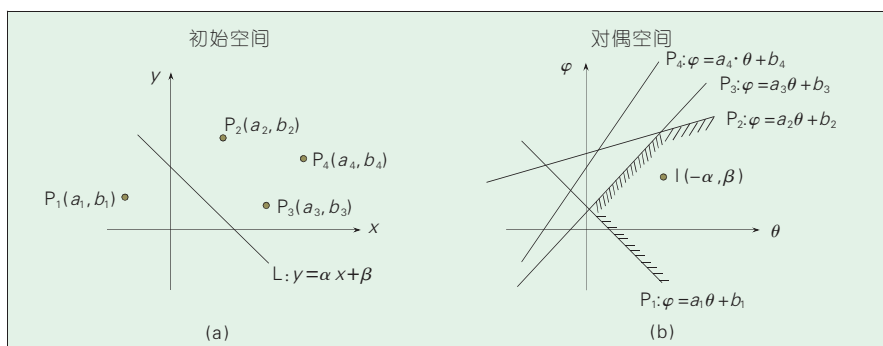


图6 面目标映射示意图

为了节省传感器节点的能量,传感器网络采用网格状的分簇结构,如图4所示。簇内节点周期性地担任簇头节点。当该网络没有侦测事件发生时,只有簇头节点处于工作状态,普通节点则处于休眠状态。当移动目标进入网格时,簇头节点负责唤醒单元格中的其他节点。

2 面目标跟踪算法—— 对偶空间转换跟踪算法

传感器网络跟踪中,很多情况下需要跟踪面积较大的目标,例如森林

火灾中火灾边缘的推进轨迹,台风的行进路线等。仅通过局部节点的协作无法侦测到完整的目标移动轨迹,为此有些学者提出使用对偶空间转换方法决定由哪些节点参与跟踪,以保证对目标移动轨迹的完整侦测。

初始二维空间的直线 $y = \alpha x + \beta$, 它由 α 和 β 两个参数唯一确定,其中 α 表示斜率, β 表示截距。定义这条直线的两个参数在初始空间的对偶空间中用点 $(-\alpha, \beta)$ 表示。同样地,初始空间中的点 (a, b) 定义了对偶空间中的一条直线 $\Phi = a\theta + b$ 。这是一

个一一映射关系,如图5所示。

假设将面积较大的目标看成是一个半平面,则它的边界就是一条直线 $L: y = \alpha x + \beta$ 。对偶空间变换就是将每个传感器节点 P_1, P_2, P_3, P_4 映射为对偶空间中的一条直线 p_1, p_2, p_3, p_4 , 将目标的边界映射为对偶空间中的一个点 $l(-\alpha, \beta)$ 。这样,在初始空间中无规律分布的传感器节点在对偶空间中便成为许多相交的直线,并将对偶空间划分为众多子区域,而跟踪目标的边界映射到对偶空间中是一个点,并处于某个子区域中,如图6所示。这个子区域对应的几条相交直线就是离目标最近的传感器节点,再通过到初始空间的逆变换确定此时需要的跟踪节点。

通过对偶跟踪的方法,跟踪问题转换为在对偶空间中寻找包括目标边界映射点的子区域。当目标移动时,映射点会进入其他子区域,这时需要唤醒新区域中的节点进行跟踪,而让原有区域中不再属于新区域的节点转入休眠状态。

3 跟踪目标需要考虑的问题

当前的目标跟踪算法主要是针对不同环境下的单个目标跟踪,如何以最低的能量代价高效地融合有效的信息是各种算法的核心问题。

3.1 跟踪精度

在目前的无线传感器网络的目标跟踪常见算法中,目标的计算位置与实际位置间不可避免地存在误差。提高跟踪的精确度更有利于实际的应用以及实际的需要,但是并不意味着精度越高就越好。若要提高目标跟踪精确度,必然需要融合较多节点的数据,这就会带来较高的能量开销。实际中需根据对结果精确度的要求和能量消耗等各方面进行综合考虑。

3.2 跟踪能量消耗

由于用无线传感器网络跟踪目

➔ 下转第53页