

一种 WSN 的传感器管理结构及仿真分析

张 静, 杨 峰, 梁 彦, 程咏梅, 潘 泉

ZHANG Jing, YANG Feng, LIANG Yan, CHENG Yong-mei, PAN Quan

西北工业大学 自动化学院, 西安 710072

College of Automatic Control, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China

E-mail: zj83215@163.com

ZHANG Jing, YANG Feng, LIANG Yan, et al. Sensor management architecture of WSN and simulation analysis. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(32): 111-113.

Abstract: Due to the limited energy and the large number of the sensor nodes in Wireless Sensor Networks, the traditional sensor management approach is no longer available. This paper will propose a hierarchical architecture for Wireless Sensor Networks, the highest tier is the sensor management between the clusters, the middle tier is the sensor management in the cluster and the lowest tier is the resource management on single sensor. Finally, we have realized the adaptive sampling of sensor nodes on the low tier. The simulation results show that the adaptive sampling of nodes can save the energy obviously under a certain tracking precision.

Key words: Wireless Sensor Networks; sensor management; adaptive sampling

摘 要: 无线传感器网络的传感器节点能量十分有限, 且数量巨大, 因而传统的传感器管理方法不再适用于无线传感器网络。针对无线传感器网络提出了一个分层的传感器管理结构, 将网络的传感器管理分为最高层-簇间传感器管理、中间层-簇内传感器管理和最低层-单个传感器管理, 并在最低层对传感器节点实现了采样间隔的自适应, 仿真结果表明在保证一定跟踪精度的条件下, 大大节省了传感器节点的能量。

关键词: 无线传感器网络; 传感器管理; 自适应采样

文章编号: 1002-8331(2007)32-0111-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP393

1 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)是随着微电子技术、计算技术和无线通信等技术的进步而出现的^[1], 它是由随机分布的集成有传感器、数据处理单元和通信模块的众多微小节点通过自组织的方式构成的网络, 被美国商业周刊在预测未来技术发展的报告中列为 21 世纪最有影响的 21 项技术之一^[2]。无线传感器网络的前景十分广阔, 能广泛应用于军事、环境、医疗、家庭以及商务等领域。

无线传感器网络中, 传感器节点能量非常有限, 目前, 大多数管理策略的目的都是在保证完成任务的前提下, 最大化节省能量, 尽量延长网络寿命^[3]。其管理策略有以下几个方面: (1) 传感器选择。Zhao^[4]提出 IDSQ(Information-Driven Sensor Querying) 算法, 用于传感器网络中时序节点的协同组织问题, 该算法利用信息收益函数来选取参与信息获取与处理的节点, 以达到信息获取的最大化, 并初步讨论了利用最近邻、马氏距离、信息熵几种信息收益函数选择簇首节点; (2) 协同感知^[5]。Yang^[6]提出

DPT(Distributed Prediction Tracking) 算法, 该算法事先将传感器网络节点划分成簇并指定簇首, 簇首根据当前时刻目标位置, 唤醒该簇内一定数量传感器节点进行探测, 同时通过一种目标位置预测机制来决定下一时刻的要唤醒的簇首。此外, 无线传感器网络的覆盖控制、拓扑管理、能量管理、配置管理等也能延长网络寿命, 提高网络资源的有效利用率。但是上述方法只是从不同角度对无线传感器网络进行传感器管理, 它并没有形成一个系统的框架, 本文尝试对无线传感器网络提出一个分层管理结构, 该结构的每一层都是以节省能量为首要目标, 并在最低层对传感器节点实现自适应采样间隔。

2 无线传感器网络的分层管理结构

无线传感器网络不同于以往的传感器管理对象, 它有其特征: (1) 传感器节点能量有限, 传感器管理策略需要更多的考虑能量约束; (2) 传感器节点数量巨大, 无线传感器网络一般都是分布式的。本文假设无线传感器网络已分簇, 每一个簇都有

基金项目: 国家自然科学基金(the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60634030); 教育部新世纪优秀人才支持计划(Supported by Program for New Century Excellent Talents in University)。

作者简介: 张静(1983-), 硕士, 研究方向为无线传感器网络、传感器管理等; 杨峰(1977-), 讲师, 研究方向为非线性滤波、目标跟踪与识别、C4ISR 等; 梁彦(1971-), 副教授, 研究方向为数据融合, 多目标跟踪, 故障检测与诊断等; 程咏梅(1960-), 教授, 主要从事人工智能, 信息融合, 图像识别, 数字信号处理, 复杂环境下机动运动目标建模, 数据关联, 主动及被动式跟踪等方面的研究; 潘泉(1961-), 教授, 研究方向为动态系统建模, 估计与控制, 信息融合, 图像处理, 识别, 多目标跟踪等。

一个簇首。因此,本文对无线传感器网络的管理采用分层的结构。

图1所示,是无线传感器网络覆盖的区域, C_1 是一个传感器节点簇, N_1 为 C_1 簇的簇首, N_2, \dots, N_6 是 C_1 簇的子传感器节点。按照图1结构,我们将无线传感器网络的传感器管理分为以下三层:最高层是簇间传感器管理,网关充当最高层管理者的角色;中间层是簇内传感器管理,簇首充当中间层管理者的角色;最低层是单传感器管理。

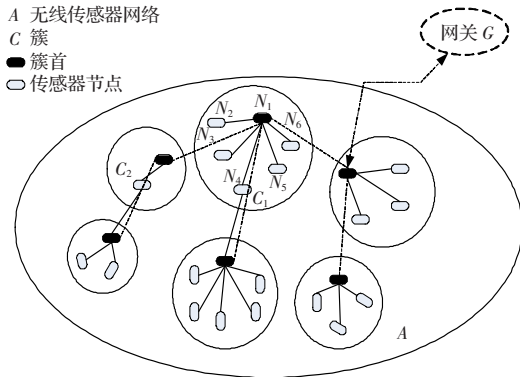


图1 无线传感器网络的分层管理结构图

(1)最高层——簇与簇

最高层的传感器管理属于多平台多传感器管理,其系统结构为分层式的,如图2所示,簇作为平台,各个簇内利用传感器节点得到观测信息进行目标状态估计,并对本平台的传感器资源进行有效分配;必要时,网关联合各个簇的目标估计信息进行估计融合,然后对多平台传感器资源进行联合调度,以优化整个网络任务性能。

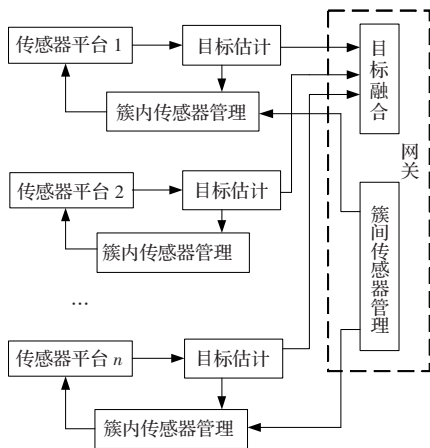


图2 分层式传感器管理体系结构

(2)中间层——簇内传感器节点之间

中间层的传感器管理属于单平台多传感器管理,主要是簇内传感器节点的协同。簇首作为平台的管理者,子节点将获得的目标信息发送至簇首,簇首集中做处理,因而中间层的传感器管理结构是集中式的,如图3所示。

(3)最低层——簇内单个传感器节点

最低层的传感器管理属于单传感器节点管理,主要是针对具有多个工作模式或者工作参数可控的传感器节点,以便根据任务的需要,有效地调整工作模式或参数,优化任务性能指标。无线传感器网络中的传感器节点的可控参数是开关机和采样周期。

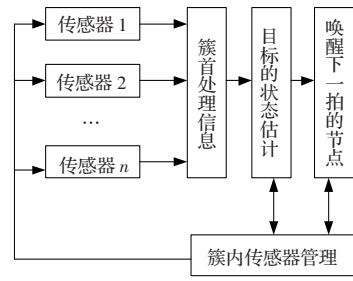


图3 集中式传感器管理体系结构

3 自适应采样间隔算法

无线传感器网络跟踪目标时,传感器节点需要以一定的采样间隔跟踪目标,并将获得的目标运动数据发送至簇首。当采样间隔较小时,传感器节点将会以较高的精度跟踪目标,但同时会导致数据采样率增大,节点上处理数据所花费的计算量增加,这些都使得消耗的能量增加;当采样间隔较大时,会导致目标跟踪精度下降,严重时会导致失跟。因此需要寻找一种优化的采样周期策略,在保证所需精度的条件下,尽量减少传感器节点的工作时间,延长采样间隔。这里,本文借鉴雷达领域的几种自适应采样策略。

3.1 公式法

文献[7]提出了一个经典的采样周期的计算公式,采样周期的大小和目标的机动特性有关,公式法建立了采样周期和目标机动参数之间的函数关系。假设 $\hat{z}(k+1|k)$ 表示目标径向距离预测值, $\hat{\sigma}_p(k+1|k)$ 表示目标径向距离的预测误差协方差, σ_0^2 表示目标径向距离的量测误差协方差,期望的预测精度是预测误差协方差和量测误差协方差的比值:

$$v_0^2 = \frac{\sigma_p^2}{\sigma_0^2} \tag{1}$$

则下一拍更新时间可由方程得到:

$$\hat{\sigma}_p^2(k+T|k) = v_0^2 \sigma_0^2 \tag{2}$$

由上式, Van Keuk 推导出采样周期的近似值为:

$$T \approx 0.4 \left[\frac{\sigma_0 \sqrt{\tau_m}}{\sigma_m} \right]^{0.4} \frac{v_0^{2.4}}{1 + 0.5 v_0^2} \tag{3}$$

式(3)中, σ_m 为运动模型的过程噪声标准差; τ_m 为运动模型的时间常数。

3.2 预测协方差门限法

文献[8]提出了一种基于预测误差协方差的自适应采样间隔算法,其思想是设定一个方差门限,输出的预测误差协方差与该门限相比较,当协方差超过了给定的门限,即进行下一次采样。采样的时间由下式给出:

$$P_{k+T|k} \leq P_{th} \tag{4}$$

$P_{k+T|k}$ 为 $k+T$ 时刻的预测误差协方差。满足上式的最大的值即为相应的采样间隔。

为了简便计算,将上述公式改写为:

$$T \Gamma[P_{k+T|k}] \leq T \Gamma[P_{th}] \tag{5}$$

门限 P_{th} 可选为量测噪声方差的线性函数,即

$$P_{th} = \lambda R_k \tag{6}$$

式(6)中, λ 是线性函数的系数,且 $\lambda > 0$, R_k 为量测误差方差阵。

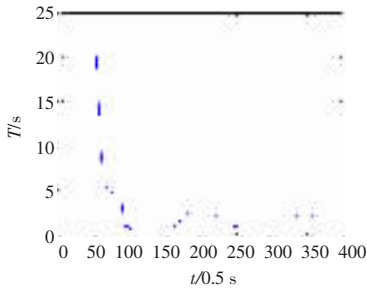


图4 公式法

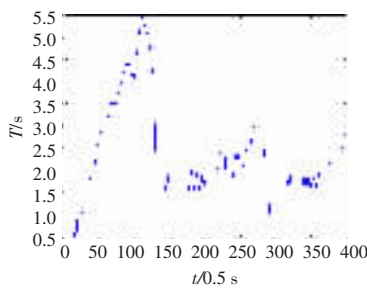


图5 预测协方差门限法

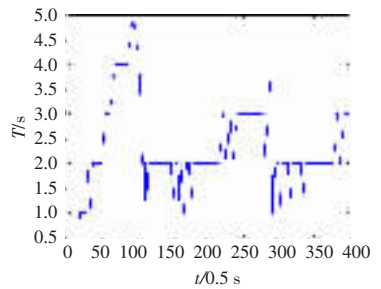


图6 预先定义采样周期法

3.3 预先定义采样周期法

在预测协方差门限法中,每次确定采样间隔都要经过若干次比较,计算量很大。为了减少计算量,考虑事先设定一组典型的采样间隔,求出每种采样间隔下目标状态的预测误差协方差,预测误差协方差大于设置的门限时的采样周期即为选取值。采样间隔确定过程为:(1)预先定义一组采样周期 $\{T_i\}_1^N$, ($T_1 \leq T_i \leq T_N$);(2)预测下一拍采样时刻为 $t_{k+1}^i = t_k + T_i$ ($i=1,2,\dots,N$),由滤波算法得到该时刻的预测误差协方差 P_{k+1}^i ; (3)根据式 $P_{k+1}^i \leq P_{th}$ 来确定下一拍的采样间隔 T^{k+1} 。

4 仿真及结果分析

本文以单目标跟踪为应用背景,传感器节点采用 naive 方式工作,即所有传感器节点都开机工作。采用 IMM 算法,不失一般性,模型的选取采用 CV 模型和 CA 模型。CV 模型系统噪声为 $0.0025 \text{ m}^2/\text{s}^2$, CA 模型系统噪声为 $0.01 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 。模型初始概率均取为 0.5,马尔可夫一步转移概率矩阵取为 $P=[0.98,0.02; 0.02,0.98]$ 。量测噪声标准差为 $\sigma_x=\sigma_y=2 \text{ m}$ 。Monte Carle 仿真次数为 50。

仿真中的监视区域为 $(0,0) \text{ m}$ 到 $(300,300) \text{ m}$ 的方形区域,在其中随机散布 400 个传感器节点。节点间有效通讯半径为 40 m 。这里认为该区域被传感器节点完全覆盖。目标的起始位置为 $(2,5) \text{ m}$,初始速度为 $v_x=v_y=0.5 \text{ m/s}$,目标在 $0 \text{ s} \sim 39 \text{ s}$ 、 $80 \text{ s} \sim 119 \text{ s}$ 、 $160 \text{ s} \sim 200 \text{ s}$ 时间段内做匀速运动,在 $40 \text{ s} \sim 79 \text{ s}$ 、 $120 \text{ s} \sim 159 \text{ s}$ 时间段内做匀加速运动,加速度为 $a_x=a_y=0.02 \text{ m/s}^2$ 。

这三种自适应采样间隔策略的仿真结果如下(图中坐标每一拍代表 0.5 s ,y 坐标每一拍代表的是由以上三种自适应采样间隔计算出来的时间,单位也是 s):

这三种采样间隔自适应策略性能比较见表 1,平均采样间隔的单位为 s。

预测协方差门限法和预先定义采样间隔法的计算公式中的值决定着目标跟踪精度以及平均采样间隔(单位为 s),对不同的 λ 值做仿真研究,结果如表 2:

由仿真图 4~图 6,表 1、表 2 可以得到以下结论:

(1)以上三种自适应采样间隔策略得到的平均采用间隔都要比固定间隔策略的长,能够减少数据采样率,节约计算资源。

(2)以上三种自适应采样间隔策略从采样间隔曲线可以看出采样间隔和目标机动特性有关。当目标做机动时,采样间隔较小,当目标匀速运动时,采样间隔较大,表明了自适应采样间隔策略在无线传感器网络的有效性。

(3)预测协方差门限法和预先定义采样周期法的原理相同,都是通过滤波算法输出的预测误差协方差门限(两者门限相同)相比较,得到下一拍采样时间,因而二者得到的数据比较

接近,但是后者的计算量大大降低。

(4)预测协方差门限法和预先定义采样周期法中的参数既影响传感器节点对目标的跟踪精度,还影响采样周期的自适应选取,越大,平均采样间隔越大,相应耗能越小,但跟踪精度降低,反之亦然,可以说跟踪精度和采样周期这两个指标的折衷可由控制。因而,可以通过选择适当的值,使得在保证一定的跟踪精度的条件下,延长网络寿命。

(5)按照跟踪精度由高到低排序:公式法、预先定义采样周期法、预测协方差门限法。按照平均采样间隔由大到小排序:公式法、预测协方差门限法、预先定义采样周期法。按照计算量由大到小排序为:公式法、预测协方差门限法、预先定义采样周期法。

表 1 几种跟踪采样自适应策略性能比较表

采样策略	通道	ME	MSE	RME	RMSE	SN	平均采样时间/s
固定周期法	X	0.62	0.79	0.03	0.09	0.67	0.50
	Y	0.62	0.79	0.02	0.05	0.59	
公式法	X	0.72	0.91	0.01	0.02	0.55	1.13
	Y	0.72	0.91	0.01	0.02	0.54	
预测协方差门限法	X	0.99	1.25	0.06	0.13	0.66	1.88
	Y	0.99	1.25	0.04	0.08	0.63	
预先定义采样周期法	X	0.97	1.22	0.06	0.15	0.68	1.91
	Y	0.97	1.22	0.04	0.08	0.65	

表 2 取值对跟踪精度及平均采样间隔的影响

采样策略	λ	通道	ME	MSE	RME	RMSE	SN	平均采样时间/s
预测协方差门限法	0.2	X	0.650	0.65	0.65	0.65	0.63	0.65
		Y	0.700	0.88	0.02	0.05	0.57	
	0.5	X	0.990	1.25	0.06	0.10	0.66	1.88
		Y	0.990	1.25	0.04	0.08	0.63	
	0.8	X	1.090	1.37	0.07	0.16	0.73	2.60
		Y	1.090	1.37	0.05	0.09	0.71	
1.0	X	1.170	1.47	0.08	0.19	0.76	3.34	
	Y	1.170	1.47	0.05	0.10	0.73		
预先定义采样周期法	0.2	X	0.690	0.87	0.03	0.09	0.61	0.69
		Y	0.689	0.87	0.02	0.05	0.56	
	0.5	X	0.970	1.22	0.06	0.15	0.68	1.91
		Y	0.970	1.22	0.04	0.08	0.65	
	0.8	X	1.110	1.41	0.07	0.17	0.72	2.79
		Y	1.110	1.41	0.05	0.10	0.70	
1.0	X	1.150	1.43	0.08	0.18	0.74	3.47	
	Y	1.150	1.43	0.05	0.10	0.72		

综合比较,公式法性能较好,预测协方差门限法和预先定义采样周期法可以由参数灵活控制,因而较实用。

5 结论

无线传感器网络的传感器节点数量非常大,且能量非常有 (下转 206 页)