

传感器管理述评

罗开平,姜 维,李一军

(哈尔滨工业大学管理学院,黑龙江哈尔滨 150001)

摘 要: 阐述了传感器管理的研究框架;综述了传感器级、平台级、网络级的传感器管理方法;回顾了传感器管理系统开发现状;分析了传感器管理的研究现状并展望了其未来研究的发展趋势。

关键词: 传感器管理;传感器调度;传感器分配;传感器控制

中图分类号: TN391, TP273 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2010) 08-1900-08

Review of Sensor Management

LUO Kai-ping,JIANG Wei,LI Yi-jun

(School of Management, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001, China)

Abstract: The framework of sensor management is presented. Its methods are summarized according to the level: sensor, platform, and network. The development of sensor management system is introduced. The status of sensor management research is reviewed.

Key words: sensor management; sensor scheduling; sensor allocation; sensor control

1 引言

Musick S 明确指出了现代战斗机操控中传感器管理问题的存在性和对其研究的紧迫性;论述了传感器管理的功能、原则和存在的问题;并前瞻性地探讨了传感器管理研究中可能用到的理论,诸如:信息论、人工神经网络、决策论和数学规划等.他还首次定义了传感器管理的目的——“选择恰当的传感器在恰当的时间对恰当的目标提供恰当的服务”.但这一定义具有狭义性,仅适用于多传感器的分配.N Xiong^[1]和刘先省对传感器级和平台级的传感器管理方法分规划论、信息论、模糊逻辑和神经网络等方面进行了综述.本文将试图对传感器管理整个研究历程进行梳理,从研究框架、方法、系统展现传感器管理研究概貌,以帮助相关学者系统地了解其研究现状和快速地跟进其研究前沿问题.

2 传感器管理的研究框架

对传感器管理问题的研究可以追溯到1977年J M Nash采用线性规划方法研究单平台多传感器跟踪多目标过程中传感器资源的最优分配问题.但传感器管理的一般性研究框架,却于本世纪初由新加坡学者G W Ng^[2]提出.他就传感器管理的角色、概念、体系和技术进行了综合讨论和系统划分,从功能的角度将传感器管理

级别划分成三层:低级、中级和高级.传感器低级管理是指对单个传感器的独立控制,如指向、频率和电源等的管理.传感器中级管理更关注传感器的任务和不同的运行模式,负责任务调度、传感器指示交接和传感器模式切换.传感器高级管理是指传感器间的交互和协同控制,可实施传感器的动态部署以期对目标最佳覆盖.F Dambreville^[3]以移动目标复杂探测系统的时空管理为例,给出了传感器资源在时空约束下联合的代数学描述框架.传感器管理决策需要传感器信息融合结果的支持,并通过对传感器资源的合理调度来提高传感器信息融合质量和效率.J Anderson^[4]指出传感器资源管理贯穿了美国国防部试验联合指导工作组所提的JDL数据融合的四级,并强调人们对态势认识的信息必须与传感器控制相联系.A R Benaskeur还进一步指出与传感器信息融合交互下的闭环式传感器管理明显优于不交互下的开环式传感器管理;闭环式传感器管理不仅能增强目标监视绩效,而且还能减少目标探测时间和传感器平台负荷.

然而,随着近几年无线传感器网络的涌现,传感器管理研究的范畴不再仅仅局限于空间管理、模式管理和时间管理.S Kim指出老式传感器系统没有现在先进的无线传感器网络的功能.老式的传感器系统只能测量目

标并将其装换成电信号,而无线传感器网络不仅能如此还能进行网间通信、计算和存储等.所以,他提出需要将先前的传感器管理框架转移到一个能适应当前更加复杂的传感器网络环境中.鉴于此,他构建了一个基于系统角色和用户角色的网络级传感器管理框架.令人匪夷所思的是,A Viswanath^[5]基于组合拍卖机制,设计了一个传感器管理市场化的框架,而且其试验结果还表明他所设计的市场化系统框架优于基于信息论的系统框架^[6].

3 传感器级和平台级传感器管理方法

3.1 基于滤波技术及协方差控制的方法

(1)基于卡尔曼滤波的方法.P Greenway^[7]阐述了使用 DKF 进行传感器管理的优越性.T Sönmez 基于卡尔曼滤波,以最小化传感器使用成本和目标定位误差协方差为优化目标,寻求机动目标定位与跟踪过程中传感器调度的次优解.T J Hestilow 将 EKF 和 EP 相结合给出了一个多传感器调度算法,其试验结果表明这种方法在对目标状态估计精度上优于基于粒子滤波的调度算法.田康生将 SKF 引入到多传感器多目标跟踪中后,利用 fisher 信息矩阵刻画信息的增量,并基于此提出了一种多传感器对多目标的分配方法.他针对多传感器系统存在观测数据过多,数据融合中心处理负担过重的问题,在引入一种基于传感器观测数据序贯处理的最优异步融合算法的基础上,提出一种基于目标协方差控制的传感器选择算法对异步观测数据进行优化组合,从而实现以最小的计算量达到所要求的目标状态估计精度.周文辉^[8]研究了基于协方差控制策略的传感器分配问题,设计一种基于 Riccati 方程的稳态传感器分配算法和自适应协方差控制的传感器分配算法;提出衡量算法协方差控制能力的平均失调量、衡量算法传感器资源占用情况的平均分配率和衡量算法受矩阵度量影响程度的分配率标准差等性能指标.韩海峰进一步讨论了这种基于协方差控制的传感器管理方法,给出分布式跟踪结构下的传感器分配算法.该算法是以最小化期望协方差与实测协方差的差距为目标,寻找最优的传感器组合.但是事先设定期望协方差,直接影响调度策略的选取.合适的期望协方差对于在跟踪精度和降低辐射量之间取得最佳资源分配方案至关重要.另外,不同的矩阵度量对分配方案也有影响.

(2)基于交互式多模型滤波的方法.刘先省以重加权交互式多模型卡尔曼滤波为基础,提出了一种传感器管理算法.该算法首先利用 RIMM 对联合多目标概率量测更新和马尔可夫转移更新求取分辨率也即信息增量,然后利用信息增量最大化来分配传感器资源.

(3)基于概率数据关联滤波的方法.M K Kalan-

dros^[9,10]将基于 PDAF 的单传感器协方差控制方法拓展到了多传感器管理中.Li Y^[11]将在多传感器多目标跟踪过程中考虑传感器使用成本情况下传感器选择问题视为部分可观测马尔科夫决策过程,然后综合运用多传感器联合概率数据关联、粒子滤波和 Q 值近似方法求解.

(4)基于概率假设密度滤波的方法.R Mahler 利用多目标联合概率、有限集统计和贝叶斯理论重新构建了传感器管理优化目标函数,采用 PHD 滤波预测状态.他还将 PHD 滤波扩展成 CPHD 后用于传感器管理中.CPHD 滤波可以提供更加准确的目标数和目标状态估计值.

(5)基于粒子滤波的方法.A Doucet 率先将粒子滤波技术引入到多目标跟踪和传感器管理中.A S Chlietri 利用粒子滤波序贯蒙特卡洛方法实现了多目标跟踪过程中多传感器的调度.该方法以最小化目标状态估计均方误差为优化目标.周林也利用粒子滤波序贯蒙特卡洛方法对非线性非高斯动态跟踪系统下的传感器资源进行优化分配.该方法首先利用粒子滤波计算目标的协方差,然后利用信息熵计算目标的信息增量,最后利用信息增量大小实现传感器资源对目标的分配.A S Chlietri 还将粒子滤波和无迹变换相结合,提出了一个基于无迹粒子滤波的多传感器调度算法.刘斌利用无迹粒子滤波技术研究了智能目标跟踪过程中的传感器调度问题,其调度优化目标是在保证跟踪精度的前提下减少主动传感器的使用.A E Fallah^[12,13]将概率假设密度滤波和粒子滤波相结合,提出了一个 PHD-PF 的传感器管理方法,并将其应用到了天基分布式异质传感器动态管理中.

3.2 基于数学规划及智能优化技术的方法

(1)基于线性规划的方法.J M Nash 将多传感器分配问题转化为经典线性规划中的运输问题,将卡尔曼滤波协方差信息和目标跟踪优先级视为运输问题中的成本.W Schmaedeke^[14]针对多传感器对多目标分配问题,给出了一个基于信息增益的线性规划求解方法.该方法以最大化信息增益为分配目标,以满足每个传感器的最大跟踪目标能力为约束条件,对传感器资源进行分配.鉴于传感器可能具备同时跟踪多个目标的能力以及同一目标可以被多个传感器进行立体跟踪的事实,该方法将可能的多传感器组合定义为伪传感器.该定义的引进为线性规划模型的表示和计算机处理提供了便利.P Vanheeghe 和程红斌对 W Schmaedeke 的传感器调度线性规划模型做了适当改进.他们将目标的威胁等级与信息分辨率增益的乘积作为优化目标函数系数,以期具有高威胁等级的目标能得到优先的立体的

跟踪.刘先省^[15]通过对目标优先级排序以及目标与传感器配对的定量描述,构建线性规划目标函数.由于闭环结构下的传感器调度算法仅仅适用于线性高斯动态系统,鉴于此,A S Chhetri^[16]开发了一个基于分支定界技术的开环式结构下的传感器调度算法.他分两种情况,使用二元规划技术建立了传感器调度模型.对于只提供位置信息的传感器,建立了0-1混合整数规划模型,然后使用分支定界算法求解;对于可提供位置和速度信息的传感器,建立了二元凸规划模型,然后使用外部近似算法求解.

(2)基于动态规划的方法.R Malhotra强调传感器管理问题是一个复杂的决策过程,涉及到诸多相关的不确定性质,必须实时决策;传感器管理问题的本质是一个动态资源分配问题,在进行误差协方差控制时,不仅要考虑信息数量还应考虑信息价值.他还将传感器管理问题归结为具有随机状态、未限期的序贯马尔科夫决策过程,并探讨了动态规划求解这类特殊的马尔科夫决策问题的适应性.针对传感器管理问题中以多个未知目标归类为目的的传感器多模式动态选择问题,D A Castafon提出了一个近似动态随机规划方法.该方法以最小化期望归类总误差为优化目标,以平均资源利用约束代替严格的可用资源约束简化求解.针对离散的非线性系统的传感器调度问题,A E Lim研究了动态规划方法求解此类问题的最优解存在性和可行性.J Evans采用随机动态规划方法求解了带可观测白噪声的、有限状态隐马尔科夫链的、传感器离散调度问题.R B Washburn建立了一个传感器管理随机动态规划模型,然后基于GIR求近似解.Evans R J将传感器控制与调度视为部分可观测的隐马尔科夫决策过程,利用动态规划和随机梯度算法进行实时求解.A Nedich基于近似动态规划技术开发了一个计算高效、具有前瞻性的多模式传感器调度新方法.H Lee针对其动态规划模型难以计算机求解的特点,提出了一个RIG算法.E Iwasa利用动态规划分确定性和随机性两种情况对传感器进行调度.

(3)基于智能优化算法的方法.M L Cone率先将遗传优化算法引入到传感器管理中,并基于所提四类指标同随机搜索算法做了对比分析.这四类评价算法的指标分别是:实时性、复杂环境适应性、鲁棒性、与不同电路结构的兼容性.G W Ng考虑到如雷达这类主动式探测的传感器在管理中不仅需要较好的覆盖能力而且需要自我保护能力.然而这两种能力在传感器分配优化时是矛盾的.所以他将传感器分配问题视为多目标优化问题,并利用改进遗传算法求其帕累托最优解^[17].张广远针对多传感器多目标分配算法的特点以及存在的问题,结合遗传算法的思想,给出了一种以目标联合

信息增量为效能的传感器管理算法.D Schrage将蚁群优化算法引入到多传感器调度问题中,并将蚁群算法的单个智能体扩展到多个智能体以适应多个传感器的调度.余勇^[52]将蚁群优化算法改进成动态启发式蚁群优化算法,应用到传感器分配线性规划模型求解中.S Maheswarajah在目标运动状态具有高斯白噪声的线性系统特征的假定下,运用微粒群优化算法寻求传感器调度序列的次优解.刘严岩^[18]根据目标特征的隶属度,利用模糊分辨力函数作为传感器信息增量测度,提出一种基于微粒群优化算法的传感器管理方法,选择使信息获取量最大且系统处理时间最小的传感器组.

3.3 基于信息论的方法

(1)基于shannon信息熵的方法.J M Manyika^[19]最先从信息论的角度研究传感器管理,他针对分布式多传感器数据融合和传感器管理问题,提出了一个基于信息论的研究框架,给出了一个用Fisher信息和信息熵量化信息的方法.G A McIntyre^[20,21]论述了在传感器管理中使用信息熵的必要性,并分别从目标探测信息、目标跟踪信息和目标识别信息三方面计算目标信息熵,最后通过与随机调度算法结果进行比较,说明了基于信息论的传感器调度方法的优越性.W Schmaedeke^[22]综合利用信息论和极大似然估计方法对传感器管理问题进行了研究,并以具有快速低分辨率模式和慢速高分辨率模式的传感器管理为例验证了其方法的有效性.针对多传感器对多个非机动目标检测与分类问题,刘先省^[37]在每个检测单元最多只有一个目标和每个调度时刻仅使用一个传感器搜索一个检测单元的假定下,以最大化每一检测单元该时刻信息熵与下一时刻期望信息熵的差为优化目标,给出了一种非机动目标的检测与分类算法.但是该算法需要先验量测概率的支持,仅适用于地面或海面非机动目标的检测与分类问题.周林提出了一种基于目标权重和信息增量相结合的方法.该方法在利用交互式多模型滤波获取信息增量的基础上,结合由部分排序集合方法而得出的目标所需的检测、跟踪和分类等任务的优先级别来对传感器资源进行分配.

(2)基于Kullback-Leibler信息分辨力方法.K Kaste11a^[23]给出了一种基于分辨力增益的传感器管理方法.该方法在多传感器多目标的探测和分类中比其他传感器管理方法具有较好的灵活性和鲁棒性.M P Kolba运用信息分辨力研究了多模式传感器管理问题.W Schmaedeke^[24]将分辨力和交互多模型卡尔慢滤波相结合进行传感器管理.该方法可以改善目标跟踪精度.A Logothetis在控制策略仅与初始状态分布有关的假定下,以最大化状态与量测交互信息为优化目标,利用最优分支枚举算法,对具有线性高斯马尔科夫系统的传

传感器调度问题进行了研究. Y Takeuchi 使用互信息度量传感器量测前后信息的变化,以最小化线性最小二乘估计误差为优化目标,给出了一个传感器分配的递归算法. 胡仁伟从目标识别系统的特点出发,借鉴信息论中分辨力的定义,利用 D-S 证据推理对不确定信息处理的优点,将其运用到融合目标识别系统中的传感器管理过程中,提出了一种基于分辨力的管理方法.

(3) 基于 Rényi 信息差异的方法. C Kreucher^[25] 使用 Rényi 信息差异量化了在探测前后多目标联合概率密度的变化,通过最大化期望 Rényi 信息差异来实现传感器的调度. 但他所提传感器管理算法需要辅助数据支持,且仅对当前状态下最优测量进行决策,所以有短视性. C Kreucher 随后又提出了两种直接信息搜索的长远的调度算法,改进了算法的短视性. 他还比较了基于信息驱动的传感器管理方法和基于任务驱动的传感器管理方法在目标跟踪与识别绩效上的差异. 基于信息驱动的传感器管理方法以最大化基于 Rényi 信息差异和多目标联合概率密度的信息增益为优化目标. 基于任务驱动的管理方法以最小化目标定位误差期望为优化目标. 其研究表明:在跟踪性能上,前者略逊于后者;而在目标分类上,前者明显胜于后者. 但是,其结果是在分别以某个算法为代表下所得结果,并不能完全代表所有基于信息驱动的管理方法都好于所有基于任务驱动的管理方法. T Hanselmann 也将传感器调度问题视为部分可观测马尔科夫决策过程,然后基于 Rényi 信息差异,提出了一个使用被动量测来跟踪多个目标的传感器调度算法.

3.4 其他方法

关于传感器级和平台级传感器管理的研究已历经三十多年,其方法颇多,比较有代表性的方法还有:基于有限集统计的方法^[26]、基于目标格的方法、基于二元代数关系的方法、基于支持向量机的方法等. 关于该类方法主要应用在机载多传感器管理、星载红外传感器管理、舰载声纳传感器管理^[27]、地面雷达传感器管理、移动机器人上传感器管理^[28]等.

4 网络级传感器管理方法

4.1 基于数学规划及智能优化算法的方法

M A Perillo 将在能量、带宽和可靠性约束下无线传感器网络寿命最大化问题转化为最大流问题,并利用线性规划方法求解. R W Ha^[29] 以保证无线传感器网络提供充足的监视能力下最小化能量消耗为目标,提出了一个被称为感知睡眠树的基于睡眠调度的组织方法. 这个感知睡眠树由基于网络最大流的线性规划模型确定. H Shah 针对集中式传感器网络中心节点调度问题,建立了一个整数非线性规划模型. 其优化目标是

最小化跟踪预测误差;约束条件是传感器的使用和启动成本约束. 他还这一模型拓展到了分布式传感器网络簇首节点的调度问题中. 其优化目标是最小化传感器的使用和通信成本,约束条件是跟踪精度约束. A S Chhetri 以一个受能量约束的声音传感器网络为例,建立了一个 0-1 混合整数规划模型,然后利用分支定界算法求解. W S Bland^[30] 将动态规划技术应用到分布式传感器网络管理中,并提出了一个九步式传感器管理框架. J L Williams 则关注了分布式传感器网络的通信成本,采用近似动态规划技术综合考虑了在传感器网络的资源调度问题中的信息价值和通信成本. 针对移动机器人导航传感器网络中传感器最优化调度问题, S Arai 以一个移动机器人和两个定点传感器为例,在每一次量测时刻只能允许一个传感器进行量测的假定下,利用二次规划方法进行了研究. B Pazand^[31] 提出了一个基于图论最小割集的传感器节点调度方法. 该方法不需要每个传感器节点的位置信息. A Talukder^[32] 将分布式传感器网络管理归结为一个多目标优化问题,并利用遗传算法求帕累托最优解. 其优化目标包括:最大化传感器信息效用;最大化信息存储效用;最小化传感器功耗;最小化传感器存储成本. K Veeramachaneni^[33] 将微粒群优化算法引入到一个多传感器网络管理中. L Osadciw^[34] 则将贝叶斯网络和微粒群优化算法二者结合应用到传感器网络管理中. 针对成簇的传感器网络, Ö Özfidan 以最小化目标状态估计误差和系统能耗为优化目标,在非线性贝叶斯推理框架下,运用粒子滤波进行传感器调度.

4.2 基于滤波技术的方法

基于信息论的无线传感器网络管理方法常隐含假定传感器等间距采样,而且还忽略了目标的动态性和估计精度的变化. 鉴于此, W Xiao^[35] 根据扩展卡尔曼滤波所估计的目标状态精度和传感器网络跟踪成本,去选择传感器及其采样间隔以使得算法能自适应目标的动态性和估计精度的变化. 他还设计出了传感器的两种调度模式:在达到预测跟踪精度之前,采用快速跟踪模式;在达到之后,采用维持跟踪模式,并采用线性能量模型预测能量消耗. 他还这种单步自适应传感器调度算法拓展为多步自适应传感器调度算法. C M Kreucher 综合运用多目标联合概率粒子滤波算法和 Rényi 信息差异,通过动态优化每个传感器的行为来实现整个传感器网络效用最大化. R Evans 在机动目标具有线性马尔科夫运动特征的假定下,综合运用交互多模型滤波、粒子滤波和概率数据关联算法对网络化传感器管理进行了研究. 张森采用交互多模型滤波估计和预测动态目标状态,然后基于跟踪精度和能耗成本

选择传感器和确定每步采样时间间隔.冯明月^[99]综合运用扩展卡尔曼滤波和改进的粒子群优化算法,以最大化任务完成率和目标跟踪精度为优化准则,给出了一种无线传感器网络的传感器调度方法.刘洋同时以动态成簇、传感器选择和采样间隔确定为调度策略,提出了一个基于扩展卡尔曼滤波自适应网络级传感器调度方法.

4.3 基于多智能体的方法

J M López^[36]将智能体技术引入到多传感器管理中,设计了两类智能体:数据融合智能体和传感器智能体;然后基于这两类智能体对多个传感器进行协同管理.基于多 Agent 的传感器管理系统具有以下优点:(1)计算复杂性低:通过充分利用各传感器的自我管理能力和协同完成任务分解和传感器管理任务,融合中心只需要对任务完成情况进行监督就可以了;(2)可扩充性和容错性:多 Agent 系统采用的是松耦合的分散结构,一个或多个传感器 Agent 的加入、删除或出错时,整个管理系统不会因此崩溃;(3)支持异构环境集成:建立在 CORBA 规范上的多 Agent 系统,可充分利用其互操作性,实现同构和异构环境下不同系统间的互操作;(4)资源可重用:传感器的管理策略、管理知识库等资源能被 Agent 程序多次调用.D Strömberg 从任务服务请求出发,研究了多平台、多传感器、多功能和多目标环境下的传感器管理问题.他指出传感器管理存在宏观和微观两个层面.宏观层面是指多个传感器的协同控制;微观层面是指每个传感器的独立管理.他还设计了一个基于系统平台的数据融合和传感器管理的开放式系统架构.该架构使用了面向对象的开发技术,包含两类智能体:任务智能体和传感器智能体.

4.4 其他方法

虽然无线传感器网络于本世纪初才出现,但对其研究在近五年内如火如荼,相关文献如雨后春笋般的涌现,比较有代表性的方法还有:基于 Rényi 信息差异的方法、基于贝叶斯网络的方法^[37]、基于拍卖算法的方法^[38]、自适应传感器调度算法^[39]、启发式调度算法等.

5 传感器管理系统

早在上世纪八十年末,美国密苏里州大学在美国一家战斗机公司的资助下就开发了一个可为操作员提供与多传感器交互的传感器管理专家系统.这个专家系统试图通过人工智能技术对多传感器进行集成,其核心部分是用于传感器分配与控制的多传感器系统状态选择(Multi-sensor System State Selection, MSSS)处理器. MSSS 包含四个优化目标:(1)满足操作员的当前目标;(2)减少传感器操控任务;(3)确保多传感器集成系统的稳定绩效;(4)最大化传感器或处理器的利用. MSSS 将

约束归为四类:(1)操作;(2)环境;(3)传感器物理;(4)算法逻辑.但是 MSSS 在进行传感器分配与控制时完全依赖于专家的知识,其推理和决策过程是基于专家知识描述的推理规则. S G Bier 针对战斗机传感器管理问题,以减少飞行员操作负担为研究动机,设计了一个空空攻击传感器管理器.该管理器具备六大功能:(1)切换操作;(2)搜索区域定义;(3)跟踪服务优先级排序;(4)传感器分配;(5)传感器执行;(6)传感器监视.该管理器在传感器资源分配时,采用贪婪式服务算法,即按照跟踪服务优先序从高到低逐序分配所剩可用传感器中最好的,直到所有传感器分配完毕.该算法具有简单易操作实用性、计算时间短,计算内存需求少的特点.但是贪婪式服务算法不能保证传感器分配方案的稳定性,也没有考虑传感器频繁调度的损耗. E W Sets^[40]设计了一个传感器数据管理子系统的架构.该架构提供设备的快捷配置以满足各种应用软件和传感器的需求. K A Dunkelberger 针对设计智能型多资源多传感器集成问题,设计一个由假设驱动的分布式传感器管理系统架构,并开发了其原型系统. M Ulvko 结合图像处理、任务规划、传感器及其平台、传感器数据融合,设计了一个无人值守飞机机载侦查传感器管理系统架构. D Vaidya 设计了一个无线异质传感器网络系统的传感器配置及管理架构. P L Rothman 指出因传感器管理系统与传感器系统、数据融合系统是一种闭环式交互,所以不能孤立地评价传感器管理系统的绩效.鉴于此,他给出了一个传感器管理系统评价框架.该框架包含四个方面:(1)相对任务目标的绩效量测选择;(2)相对权重的确定;(3)基准场景的定义;(4)传感器管理系统间的对比.但他没有给出各种绩效的量化方法.

6 研究现状分析

由于先进战斗机和智能机器人对多传感器自动管控的迫切需求,传感器管理在上世纪九十年代成为研究热点,并迅速地得到发展.本世纪初,无线传感器网络的出现及其在军用和民用的极大潜能,使得传感器管理的研究跳出了先前仅仅局限在传感器级和平台级的研究范畴.传感器研究的重点也不再单是传感器对跟踪目标的匹配问题.传感器调度的策略也不只是传感器的选择、传感器工作模式或参数(如指向、频率)的选择、传感器跟踪目标起始时间的选择等.网络级传感器管理主要是针对近几年出现的无线传感器网络而言.无线传感器网络是由大量无处不在的,具有通信与计算能力的微小传感器节点密集布设在无人值守的监控区域而构成的能够根据环境自主完成指定任务的智能自治测控网络系统.传感器级和平台级的传感器管理与网络级的传感器管理有较大的差别见表 1.其原因

在于无线传感器网络有别于传统的多传感器平台组成的网络.无线传感器网络具有如下新特性:(1)传感器节点尺寸小、价格低、网络配置代价小;(2)传感器节点监视范围小和监视任务常需要多个传感器协同完成,因而传感器节点数量多、密度大、冗余性高;(3)传感器节点的能量、计算能力、存储容量、通信带宽有限;(4)无线传感器网络系统长期在无人值守的条件下工作,网络拓扑结构容易因传感器节点的增加或删减、环境干扰等原因而动态变化;(5)传感器节点之间采用无线链接.

传感器的管理方法与传感器分配最优化目标有关,由最优化目标的选择角度决定.常见最优化目标选择的角度包括:运筹学、控制论和信息论.因而,常见的传感器管理的方法便是运筹学中的规划法、智能优化技术、控制论中的滤波算法、信息论中的信息测度、网络管理中的多智能体技术以及这些方法的综合.这些方法各有侧重.控制论和信息论的方法侧重于量化传感器管理优化目标函数系数,如误差和信息增量;运筹学的方法侧重于建立其传感器管理的数学模型;人工智能的方法侧重于求解传感器管理数学模型.其他方法则局限于所研究的某类传感器管理问题或者传感器管理的某个方面,尤其是当前网络级传感器管理的研究仅从某一方面进行,诸如:能量消耗问题、网络通信问题、网络寿命问题、网络覆盖问题等.然而这些问题是无线传感器网络都会面临的主要问题,目前还没有一个能同时解决这些问题的传感器管理方法.

从统计图图 1 易知,国内对传感器管理的研究明显晚于美国近二十年,而且依然集中在传感器级和平台

级的传感器分配和调度.所采用的主要方法是:(1)滤波技术 + 信息论;(2)数学规划及智能优化技术 + 信息论.而这些也仅仅是对国外九十年代所提方法的一点改进.这种落差的出现可能与我国现代战斗机和智能机器人的发明和制造要晚于美国有关.随着我国学者国际交流的不断加强与军方对无线传感器网络的青睐,这种学术落差会逐渐地消失.

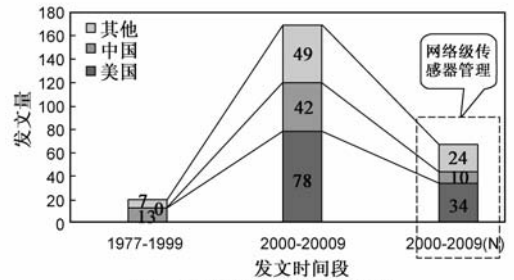


图1 传感器管理文献统计图

7 结语

在现代战斗机、智能机器人、无线传感器网络等设备对传感器自动管控的迫切需求下,伴随着传感器数据融合技术的不断发展,传感器管理问题,尤其是网络级传感器管理问题成为了国际上的研究热点和前沿课题.由于无线传感器网络有别于传统无线网络,对其传感器进行高效高能管理,必须同时综合考虑能量消耗问题、网络通信问题、网络寿命问题、网络覆盖问题等.所以,未来传感器管理的研究也将从解决某一方面的问题朝向同时解决多方面的问题不断发展.

表 1 传感器级、平台级、网络级传感器管理三者的差异

级别	优化主目标	约束条件	传感器管理策略	常见方法
传感器级	●最小化目标状态误差	●传感器工作模式适用的情况	●模式切换 ●参数配置(包括:开启和关闭时间、监视起始时间、探测信号频率、方位角、采样间隔等)	●基于滤波技术及协方差控制的方法 ●基于数学规划及智能优化技术的方法 ●基于信息论的方法
平台级	●最大化传感器资源监视效能 ●最大化高优先级目标成功跟踪数	●每个传感器的监视能力(如:有效视场、瞬间视场、可同时监视的目标数等)	●多目标跟踪任务优先级排序 ●多传感器与多目标匹配	●基于滤波技术及协方差控制的方法 ●基于数学规划及智能优化技术的方法 ●基于信息论的方法
网络级	●最大化网络寿命 ●最大化传感器资源监视效能	●每个传感器节点的能量限制 ●网络信宽限制 ●每个传感器节点的监视能力	●动态成簇(即:簇首传感器的动态选择、簇内传感器节点的动态选择) ●睡眠控制(即:传感器节点在睡眠和激活间切换) ●通信控制(即:传感器节点收发信息量和时间间隔)	●基于滤波技术的方法 ●基于数学规划及智能优化技术的方法 ●基于多智能体的方法

参考文献:

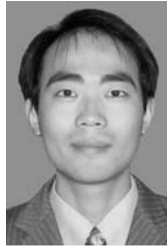
[1] Xiong N, Svensson P. Multi-sensor management for information fusion: issues and approaches[J]. Information Fusion. 2002, 3(2):163 - 186.
[2] Ng G W, Ng K H. Sensor management: what, why and how

[J]. Information Fusion. 2000, 1(2): 67 - 75.
[3] Dambreville F, Le C J. Spatio-temporal multi-mode information management for moving target detection[J]. Information Fusion. 2004, 16(5): 169 - 178.
[4] Anderson J, Hong L. Sensor resource management driven by threat projection and priorities[J]. Information Sciences. 2008,

- 178(6):2007 – 2021.
- [5] Viswanath A, Mullen T, Hall D, et al. MASM: a market architecture for sensor management in distributed sensor networks [A]. Proceeding of SPIE on Multisensor, Multisource Information Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications [C]. Orlando, FL, USA. 2005. 5813. 281 – 289.
- [6] Mullen T, Avasarala V, Hall D L. Customer-driven sensor management [J]. IEEE Intelligent Systems. 2006, 21(2): 41 – 49.
- [7] Greenway P, Deaves R H. Sensor management using the decentralized Kalman filter [A]. Proceeding of SPIE on Sensor Fusion [C]. Boston, MA, USA. 1994, 2355: 216 – 225.
- [8] 周文辉. 相控阵雷达及组网跟踪系统资源管理技术研究 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2004. 1 – 120.
Zhou wen-hui. Research on Resource Management Technology for Phased Array Radar and Its Network in Tracking System [D]. Chang sha; National University of Defense Technology. 2004. 1 – 120. (in Chinese)
- [9] Kalandros M K. Managing Multiple Sensor Resources Using Covariance Control Techniques for Tracking Systems with Data Association [D]. University of Colorado at Boulder, Boulder, USA, 2000. 1 – 200.
- [10] Kalandros M. Covariance control for sensor management in cluttered tracking environments [J]. Journal of Guidance, Control, and Dynamics. 2004, 27(3): 493 – 496.
- [11] Li Y, Krakow L W, Chong E K P, et al. Approximate stochastic dynamic programming for sensor scheduling to track multiple targets [J]. Digital Signal Processing. 2007, 7(5): 1 – 12.
- [12] El-Fallah A, Zatezalo A, Mahler R, et al. Regularized multitarget particle filter for sensor management [A]. Proceeding of SPIE on Signal Processing, Sensor Fusion, and Target Recognition [C]. Orlando, FL, USA, 2006. 6235: 5 – 11.
- [13] El-Fallah A, Zatezalo A, Mahler R, et al. Dynamic sensor management of dispersed and disparate sensors for tracking resident space objects [A]. Proceeding of SPIE on Signal Processing, Sensor Fusion, and Target Recognition [C]. Orlando, FL, USA. 2008. 6968: 1 – 11.
- [14] Schmaedeke W W. Information-based sensor management [A]. Proceeding of SPIE on Signal Processing, Sensor Fusion, and Target Recognition [C]. Orlando, FL, USA. 1993. 1995: 156 – 164.
- [15] 刘先省. 传感器管理方法研究 [D]. 西安: 西北工业大学, 2000. 1 – 100.
Liu xian-xing. A Study of Sensor Management [D]. Xi' an; North western Ploytechnical University. 2000. 1 – 100. (in Chinese)
- [16] Chhetri A S, Morrell D, Papandreou-Suppappola A. On the use of binary programming for sensor scheduling [J]. IEEE Transactions on Signal Processing. 2007, 55(6): 2826 – 2839.
- [17] Ng G, Ng K H, Chia E L. Sensor management: coverage versus survivability a multiple- objective optimization problem [A]. Proceeding of SPIE on Multisensor, Multisource Information Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications [C]. Orlando, FL, USA. 2003. 5099: 421 – 428.
- [18] 刘严岩. 多传感器数据融合中几个关键技术的研究 [D]. 长沙: 中国科学技术大学, 2006. 20 – 80.
Liu Yan-yan. Research on Several Key Technologies of Multi-Sensor Data Fusion [D]. Changsha: University of Science and Technology of Cina. 2006. 20 – 80. (in Chinese)
- [19] Manyika J M, Durrant-Whyte H F. An Information-theoretic approach to management in decentralized data fusion [A]. Proceeding of SPIE on Sensor Fusion [C]. Boston, MA, USA. 1992. 1828: 202 – 213.
- [20] McIntyre G A. A Comprehensive Approach to Sensor Management and Scheduling [D]. George Mason University, Fairfax, USA, 1998.
- [21] Hintz K J, McIntyre G A. Information instantiation in sensor management [A]. Proceeding of SPIE on Signal Processing, Sensor Fusion, and Target Recognition [C]. Orlando, FL, USA. 1998. 3374: 38 – 47.
- [22] Schmaedeke W W, Kastella K D. Event-averaged maximum likelihood estimation and information-based sensor management [A]. Proceeding of SPIE on Signal Processing, Sensor Fusion, and Target Recognition [C]. Orlando, FL, USA. 1994. 2232: 91 – 96.
- [23] Kastella K D, Musick S. Search for optimal sensor management [A]. Proceeding of SPIE on Signal and Data Processing of Small Targets [C]. Orlando, FL, USA. 1996. 2759: 318 – 329.
- [24] Schmaedeke W W, Kastella K D. Information-based sensor management and IMMKF [A]. Proceeding of SPIE on Signal and Data Processing of Small Targets [C]. Orlando, FL, USA. 1998. 3373: 390 – 401.
- [25] Kreucher C M, Kastella K D, Hero Iii A O. Information-based sensor management for multitarget tracking [A]. Proceeding of SPIE on Signal and Data of Small Targets [C]. San Diego, CA, USA. 2003. 5204: 480 – 489.
- [26] Mahler R P S. Global posterior densities for sensor management [A]. Proceeding of SPIE on Acquisition, Tracking, and Pointing [C]. Orlando, FL, USA. 1998. 3365: 252 – 263.
- [27] Sonmez T. Sensor Scheduling, Target Detection and Estimation in Sonar Applications [D]. University of Maryland College Park. Maryland, USA. 2003. 10 – 180.
- [28] Gage A, Murphy R R. Sensor scheduling in mobile robots using incomplete information via min-conflict with happiness [J]. IEEE Transactions On Systems, Man, and Cybernetics, Part B; Cybernetics. 2004, 34(1): 454 – 467.
- [29] Ha R W, Ho P, Shen X S, et al. Sleep scheduling for wireless sensor networks via network flow model [J]. Computer Com-

- munications. 2006, 29(13): 2469 – 2481.
- [30] Bland W S. A Simulation-Based Approach for Efficient Sensor Management of Distributed Sensor Networks[D]. University of Virginia. Virginia, USA. 2003. 1 – 160.
- [31] Babak Pazand A D. An energy-efficient node-scheduling scheme for wireless sensor networks based on minimum dominating sets[J]. International Journal of Network Management. 2009, 19(2): 75 – 99.
- [32] Talukder A, Ali S, Panangadan A, et al. Optimal sensor scheduling and power management in sensor networks[A]. Proceeding of SPIE on Optical Pattern Recognition[C]. Orlando, FL, USA. 2005. 5816: 221 – 232.
- [33] Veeramachaneni K K, Osadciw L A. Dynamic sensor management using multi-objective particle swarm optimizer[A]. Proceeding of SPIE on Multisensor, Multisource Information Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications[C]. Orlando, FL, USA. 2004. 5434: 205 – 216.
- [34] Osadciw L A, Veeramachaneni K K. A controllable sensor management algorithm capable of learning[A]. Proceeding of SPIE on Multisensor, Multisource Information Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications [C]. Orlando, FL, USA. 2005. 5831: 257 – 268.
- [35] Xiao W, Wu J K, Xie L. Adaptive sensor scheduling for target tracking in wireless sensor network[A]. Proceeding of SPIE on Advanced Signal Processing Algorithms, Architectures, and Implementations[C]. San Diego, CA, USA. 2005. 5910: 1 – 9.
- [36] J M Molina Lo'pez J G H F. Cooperative management of a net of intelligent surveillance agent sensors[J]. International Journal of Intelligent Systems. 2003, 18(3): 279 – 307.
- [37] Yilmazer N, Osadciw L A. Sensor management and Bayesian networks[A]. Proceeding of SPIE on Multisensor, Multisource Information Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications[C]. Orlando, FL, USA. 2004. 5434: 238 – 248.
- [38] Williams J L, Fisher Iii J W, Willsky A S. Sensor management for multiple target tracking with heterogeneous sensor models [A]. Proceeding of SPIE on Signal Processing, Sensor Fusion, and Target Recognition [C]. Orlando, FL, USA. 2006. 6235: 1 – 10.
- [39] Choi W, Das S K. Coverage-adaptive random sensor scheduling for application-aware data gathering in wireless sensor networks[J]. Computer Communications. 2006, 29(17): 3467 – 3482.
- [40] Bang Wang K C C. Scheduling sensor activity for information coverage of discrete targets in sensor networks[J]. Wireless Communications and Mobile Computing. 2008, 9(9): 1 – 13.
- 备注: 由于篇幅所限, 论文所提参考文献未能一一给出, 若需请与本文作者联系索取。

作者简介:



罗开平 男, 1982 年生于四川, 博士生, 主要研究领域包括多准则决策、最优化决策、传感器管理等。

E-mail: lkpyonghengyiran@163.com

姜 维 男, 1978 年生于黑龙江, 博士, 主要研究领域为词频分析和电子商务等。

李一军 男, 1957 年生于黑龙江, 博士, 教授, 博导, 主要研究领域为管理信息系统。