

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2017.05.010

多传感器智能调度方案设计

张悦

(浙江大学电气工程学院, 浙江杭州 310027)

摘要:针对资源有限条件下的多传感器调度,综合考虑了环境条件、任务要求、目标状态与传感器特性,提出了一种基于修正的效能函数多传感器管理算法。设计了综合考虑环境因素和任务要求的面向对象的优先级函数;提出了基于观测协方差与传感器特性的传感器-目标的配对系数的量化;给出了可自适应的效能函数;通过仿真验证了该方法。仿真结果表明了该调度方案的有效性与适应性,其不仅能满足基本的观测任务需求,且当环境发生改变时能够自适应的对调度方式作出调整。

关键词:多传感器调度;匹配系数;修正效能函数;协同探测

中图分类号:TN959.73

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2017)05-0043-05

Intelligent Scheduling Design on Multi-Sensor

ZHANG Yue

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: This paper presented an algorithm of multi-sensor management based on modified efficiency function synthetically considering the environmental factors, mission requirements, target statements and sensor characteristics to make it self-adaptive and suitable for multi-sensor management in resource limited area. Considering environmental factors and mission requirements, the object-oriented priority function was introduced on the basis of traditional algorithm. The sensor-target pairing coefficient was quantified on the basis of observed covariance and sensor characteristics. The modified efficiency function was given. The method was verified by this simulation. The results show that the algorithm is reasonable and effective. This function can not only meet the demand of basic observation tasks, but also adjusts itself for various conditions.

Keywords: multi-sensor scheduling; pairing coefficient; modified efficiency function; collaborative detection

传感器的合理调度能够合理利用资源,提高传感器探测系统的有效性。在资源有限的条件下,通过信息融合技术将异质传感器获得的信息进行协调、互补以提升整体跟踪能力,通过传感器调度技术优化资源配置满足任务要求。与单一信息来源的单传感器目标跟踪系统相比,经信息融合后的多传感器跟踪系统具有更多优点:较强的系统生存能力,较大的空间和时间观测域,较高的信息的精确度和可信度,较高的检测率与识别率^[1]。

为了取得更全面的信息,观测平台会配备多种异质传感器,相对于同质传感器而言,异质传感器的量测

方式各异,其工作模型也各不相同。异质多传感器的融合难点在于没有统一的数学工具与方法对其进行信息融合,需要在异质传感器融合的基础上充分利用各个异质传感器完成调度。

海内外学者对于多传感器系统的调度进行了不少研究,最初 Rothman^[2]定义了一种基于传感器量测能力和量测有效性的传感器-目标配对方法,以便于量化各分配方案的临界效益,但是布尔矩阵提供信息过于简单很难满足多样化的跟踪需求;Malhotra^[3]研究了传感器在时间管理方面的特征,并将管理方法描述为一种 Markov 过程,使用动态规划法对其求解,但在实际

收稿日期:2017-01-09;修回日期:2017-05-15

基金项目:航空科学基金(2015ZC76006)。

第一作者简介:张悦(1991),女,湖北仙桃人,硕士研究生,主要从事信息融合技术与传感器管理研究。E-mail:455987186@qq.com

预测规划时可能产生计算的组合爆炸。文献[4]利用协方差控制技术研究了同类多传感器在复杂环境下的调度;文献[5]提出了一种基于目标威胁度的多传感器调度方法,其对目标威胁度的量化方法可以对本文优先级的量化提供参考。本文以效能函数管理算法^[6]作为基础,兼顾环境与观测任务需求,利用传感器获得的信息与初步融合后得到的滤波结果,将目标优先级排序与匹配系数进行量化处理,得到基于修正的效能函数的多传感器管理算法,经仿真实验证明,该方法是切实可行的。

1 异质多传感器系统

常见的适用性广的异质多传感器系统,通常由相控阵雷达(phased array radar, PAR)、红外传感器(infrared search and track,IRST)及图像传感器(imaging sensor,IS)这3种传感器组成^[7]。PAR作为有源传感器,具有良好的测距精度与相对较差的跟踪能力;IRST为无源传感器,跟踪能力与测角能力相对较强,但是无测距能力;IS作为光反射传感器,具有较差的定位能力,但是能获取目标的状态信息与型号信息。3种传感器的协同探测能够协调互补,提高整个系统的适用性。考虑到外部输入的指令与调控,现设计观测平台目标跟踪流程图如图1所示。

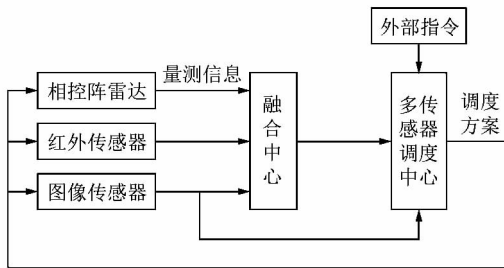


图1 多传感器目标跟踪流程图

Figure 1 Tracking system scheme of multisensor

传感器得到的量测信息经过融合中心的初步滤波处理得到估计信息,估计信息与一部分初始量测信息一起被送入调度中心,以任务需求和传感器属性作为附加条件,建立目标函数与约束,通过解出目标函数的最优解,得到各传感器的资源分配方式并输出,调度中心的运行流程见图2。

2 目标优先级

为了在观测能力有限的情况下进行更高效的工作,首先必须对观测目标进行优先级的量化与排序。影响优先级的因素有很多,针对不同的任务需求可以选择不同的因素^[8]。基于本文任务需求考虑,可选取以下3种因素进行量化:

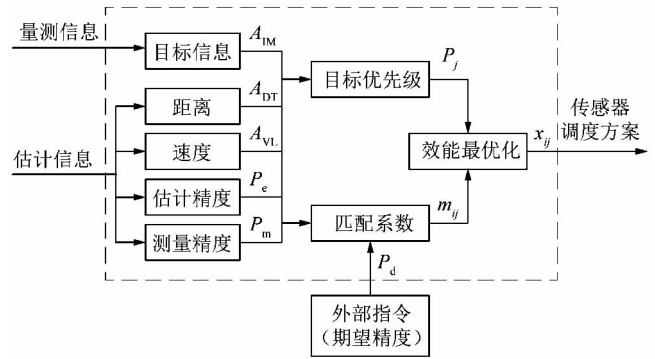


图2 多传感器资源调度流程图

Figure 2 Management module scheme of multisensor

1) 型号信息 A_{IM} 。目标的型号信息所造成的优先级,由IS观测图形信息得知其目标型号,并利用查表法得出该种型号对观测需求的优先度作为 A_{IM} 的值,并取在 $[0,1]$ 之间。优先度越高, A_{IM} 值越大。

2) 距离 A_{DT} 。经过融合中心的融合滤波后,可以得到上一时刻的各个目标与观测中心的相对估计距离,通过线性函数归一化将这些估计距离的倒数进行等比例的缩放到 $[0,1]$ 区间并赋值于 A_{DT} 。目标与观测中心的相对距离越近, A_{DT} 值越大,优先级会越高。

3) 速度 A_{VL} 。经融合中心的融合滤波后,可以得到上一时刻各个目标 j 与观测中心的相对速度并求模,通过线性函数归一化将其进行等比例的缩放到 $[0,1]$ 区间并赋值给 A_{VL} 。相对速度越快的目标, A_{VL} 值越大,优先级越高。

定义 $p_j(A_{IM}, A_{DT}, A_{VL})$ 为目标优先级排序函数, p_j 为目标 j 在当前时刻的所有已观测到目标中所处的优先级排序,其取值由以上3个因素决定。当有外部任务需求优先观测某个目标时,定义这个目标的优先级为最高级别,即将 p_j 置为1。 $p_j(A_{IM}, A_{DT}, A_{VL})$ 求法如下:

$$p_j = \alpha \times A_{IM} + \beta \times A_{DT} + \gamma \times A_{VL} \quad (1)$$

式中: α, β, γ 是取值范围为 $[0,1]$ 的加权系数,其取值由具体环境以及任务需求确定,且须满足 $\alpha + \beta + \gamma = 1$ 。由于 A_{IM}, A_{DT}, A_{VL} 均为 $[0,1]$ 范围内实数,故 $p_j \in [0,1]$ 。

其中线性函数归一化公式 $n_{nor}(N)$ 如下:

$$n_{nor}(N) = \frac{n - n_{min}}{n_{max} - n_{min}} \quad (2)$$

该方法能够将原始数据集中的数据等比例地缩放到区间 $[0,1]$ 内。其中: $n_{nor}(N)$ 为处理后的数据; N 为原始数据集; n 为原始数据集中的初始数据; n_{max}, n_{min} 分别为原始数据集中的所有数据的最大值和最小值。

3 配对系数

为计算传感器对目标的配对函数,定义配对系数 $m_{ij} (i = 1, \dots, n_s; j = 1, \dots, n_t)$ 。其中 $\max \{m_{ij}\} = 1$, $\min \{m_{ij}\} = 0$ 。配对系数包含两部分影响因素:一部分反映特定的传感器能对特定的目标起到不同程度的改善;另一部分反映经过一系列估计滤波后对目标的跟踪精度是否达到一个饱和值,如跟踪轨迹滤波协方差^[9]。由于主要任务需求为跟踪精准度,故本次研究将依此建立配对系数计算公式,公式需要用到变量如下:

1) 估计精度 P_e 。估计精度为经初步融合估计后的状态估计协方差,反映了上一时刻的跟踪效果。一般情况下,该协方差是基于笛卡尔直角坐标系建立的。

2) 测量精度 P_m 。测量精度是传感器或传感器组合自身的特性,反映了该传感器(组合)量测能力,是量测误差的协方差矩阵。一般情况下有测角精度误差与测距精度误差之分,因此量测误差协方差矩阵是基于球坐标系建立的。为方便计算,必须将其转换为直角坐标系下的协方差矩阵,转换方法参考文献[10]。

3) 期望精度 P_d 。期望精度是任务需求的最大跟踪误差,一般情况下,该协方差是基于笛卡尔直角坐标系建立的。

配对系数的计算公式必须同时兼顾2个因素,即使用传感器组合 i 观测目标 j 能否使跟踪精度得到改善;传感器组合 i 的探测精度是否能够满足任务需求。为比较不同传感器组合的跟踪能力差别,文中定义了距离函数

$$g(A, B) = \sum_{i=1}^n h'_{ii}, i = 1, 2, \dots, n_m. \quad (3)$$

其中,

$$h'_{ii} = \begin{cases} h_{ii}, h_{ii} \geq 0, \\ 0, h_{ii} < 0. \end{cases} \quad (4)$$

该函数可以用来比较 A, B 2 个协方差的精度。参考协方差矩阵的性质,可定义 A, B 为半正定的 $n_m \times n_m$ 矩阵,且 $A^T = A, B^T = B$ 。令 $H = A - B$, 可得 $H^T = H$ 。定义 $h_{ij} (i = 1, \dots, n_m)$ 为矩阵 H 的对角元素,当 $h_{ij} < 0$ 时, a_{ij} 比 b_{ij} 精确度更高,对本项目来说,意味着实际目标状态的某项估计精度已经高于传感器量测能力,或者是实际目标状态的某项估计精度已经满足任务需求,使用该传感器组合观测该目标不会造成精度损失,但是可能会造成资源浪费,故在距离函数中将该项置0。据此求出的距离函数值同样需要先进行归一化再行计算。

在此基础上,可以定义配对系数 $m_{ij} (P_e, P_m, P_d)$ 的计算公式:

$$m_{ij} = \varepsilon \times n_{\text{nor}}(g(P_{e_j}, P'_{m_{ij}})) + \zeta \times n_{\text{nor}}(g(P_{e_j}, P_{d_j})), i = 1, 2, \dots, n_s, j = 1, 2, \dots, n_t. \quad (5)$$

式中: $P'_{m_{ij}}$ 为经过坐标系变换后基于惯性坐标系的测量精度; P_{e_j} 为目标 j 的当前状态估计协方差; P_{d_j} 为目标 j 的当前期望精度; $n_{\text{nor}}()$ 为归一化函数; n_s 为传感器组合方式数量; n_t 为传感器观测到的目标个数; ε, ζ 为取值范围为 $[0, 1]$ 的加权系数,其取值由具体环境以及任务需求确定,且须满足 $\varepsilon + \zeta = 1$; 故 $m_{ij} \in [0, 1]$ 。该公式表明,当某个传感器组合的量测精度比当前目标的实际估计精度越精确,或者实际估计精度还未达到任务需求的时候,该目标对这个传感器组合的需求强度越大, m_{ij} 值越大。

4 传感器资源分配优化算法

现要求解一个多传感器多目标分配问题,设有 m 个传感器观测到 n_t 个目标。传感器的各种组合方式有 $n_s = 2^m - 1$ 个,其中传感器 $k (k = 1, \dots, m)$ 能同时跟踪 t_k 个目标, $D(k)$ 为所有包含传感器 k 的传感器组合的集合。定义一个只含有元素 0, 1 的 $n_s \times n_t$ 解矩阵 X , 矩阵中若元素 $x_{ij} = 1$, 则表示传感器 i 被分配观测目标 j , x_{ij} 表示不被分配 ($i = 1, \dots, n_s; j = 1, \dots, n_t$), 最优解记为 $\bar{X}$ 。

定义修正效能函数

$$E(X) = \sum_{i=1}^{n_s} \sum_{j=1}^{n_t} \{ [\lambda \times p_j(A_{\text{IM}}, A_{\text{DT}}, A_{\text{VL}}) + \mu \times m_{ij}(P_e, P_m, P_d)] \times x_{ij} \}. \quad (6)$$

式中: λ, μ 是取值范围为 $[0, 1]$ 的加权系数,其取值由具体环境以及任务需求确定,一般情况下由于优先级的影响要大于匹配系数的影响,故 $\lambda > \mu$, 且须满足 $\lambda + \mu = 1$ 。

最优准则是综合效能最大化,即

$$\bar{X} = \arg\max (E(X)). \quad (7)$$

其最大跟踪能力约束为:

$$\sum_{i \in D(k)} \sum_{j=1}^{n_t} x_{ij} = t_k. \quad (8)$$

对目标覆盖率的约束为:

$$\sum_{i=1}^{n_s} x_{ij} \geq 1. \quad (9)$$

式中: $i = 1, \dots, n_s; j = 1, \dots, n_t; k = 1, \dots, m, \bar{X}$ 为最优的传感器资源调度方案。

5 仿真结果与分析

假设观测平台上装载了相控阵雷达(PAR)、红外

传感器(IRST)、图像传感器(IS),传感器对目标方位角 θ 、俯仰角 φ 、距离 r 这3个观测值的量测噪声标准差分别为 $\sigma_\theta, \sigma_\varphi, \sigma_r$,其量测性能设定与最大跟踪能力约束 t_k 见表1。

表1 传感器参数表

Table 1 Parameters of sensors

传感器编号	方位角 σ_θ/rad	俯仰角 $\sigma_\varphi/\text{rad}$	距离 σ_r/m	跟踪能力 t_k
1(PAR)	0.010	0.010	5	2
2(IRST)	0.002	0.002		3
3(IS)	0.020	0.020		4

这3个传感器可以单独观测也可以两两组合,甚至3个同时使用,所以需要考虑的传感器组合共有7种,传感器组合的观测噪声可以通过最小二乘法求得。

需要观测的对象有4个,其信息设定见表2,其中型号信息是依据观测目标的种类得出的观测优先度 A_{IM} ,且对观测目标而言,不同的观测阶段具有不同的期望观测精度。

表2 目标参数表

Table 2 Parameters of targets

目标	型号信息	期望精度(0~40 s时)	期望精度(41~100 s时)
I	0.56	diag[30,30,30]	diag[30,30,30]
II	0.86	diag[30,30,30]	diag[10,10,10]
III	0.12	diag[30,30,30]	diag[30,30,30]
IV	0.70		diag[10,10,10]

图3是多传感器观测平台—多目标模型的真实运动轨迹,其中,0~40 s时观测平台做匀速运动,目标I、II、III出现在监视区域内,在41 s时目标IV出现,同时观测平台发生转向。

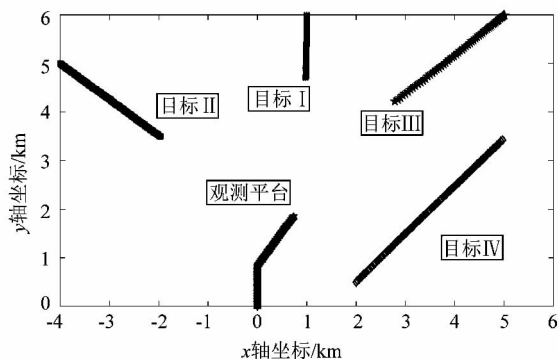


图3 多目标与观测平台的真实轨迹

Figure 3 Movement of targets and sensors

图4为针对当前场景经过仿真得出的多传感器调度方案,其中传感器编号1,2,3分别代表相控雷达,红外传感器与图像传感器。

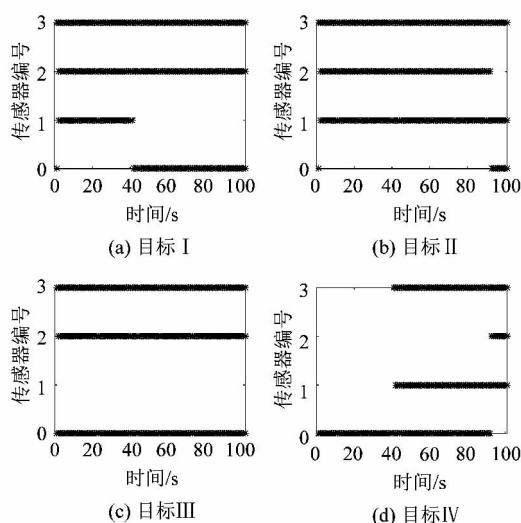


图4 多传感器调度仿真结果

Figure 4 Multisensor assignment for targets

在0~40 s时,传感器按照优先度高低,被合理的分配给3个目标,目标III优先级最低,得到的传感器最少。在41~90 s后,新目标IV出现,首先由能获得全面信息的IS对其进行初步扫描,在得出其效能值后,相控雷达被从期望精度更低的目标I分配给目标IV。在90 s时,目标IV与航空平台的相对距离过近,优先度提高,更多的传感器被自动分配给目标IV。

由仿真结果可知,该规划策略能够实现多传感器对多目标的稳定调度,在满足任务需求的情况下,能应对实际环境产生自适应调度。基于修正效能函数的多传感器调度算法的合理性和有效性得到了充分证明。

6 结语

针对资源有限情况下的多传感器智能调度问题,笔者参考了传统的基于效能函数的调度方案,在综合考虑了环境与任务需求的情况下,充分利用了多传感器的量测信息与估计信息对优先级系数与匹配系数进行量化,提出了一种基于修正的效能函数的调度方法。该算法能兼顾传感器探测精度需求与机载环境下的有限资源约束,并能对外界任务输入迅速做出反应。对比传统的效能函数来说,量测与估计信息的加入能够使调度过程更加智能,但仍然有许多因素值得考虑,例如天气情况对图像传感器的影响,电子干扰对相控雷达的影响等等,这些问题都值得更深一步的研究。

参考文献:

- [1] NASH J M. Optimal allocation of tracking resource [C]//IEEE Conference on Decision and Control, Including the 16th Symposium on Adaptive Processes and a Special Symposium on Fuzzy Set Theory and Applications. New Orleans: IEEE, 1977: 1177-1180.

- [2] ROTHMAN P L, BIER S G. Evaluation of sensor management systems [C]//Aerospace and Electronics Conference. Dayton, Ohio: IEEE, 1989:1747-1752.
- [3] MALHOTRA R. Temporal considerations in sensor management [C]//Aerospace and Electronics Conference. Dayton, Ohio: IEEE, 1995:86-93.
- [4] KALANDROS M. Covariance control for sensor management in cluttered tracking environments [J]. Journal of guidance control and dynamics, 2015, 27(3):493-496.
- [5] KATSILIERIS F, DRIESSEN H, YAROVY A. Threat-based sensor management for target tracking [J]. IEEE transactions on aerospace & electronics systems, 2015, 51(4):2772-2785.
- [6] LIU Xianxing, PAN Quan, ZHANG Hongcai, et al. Study on algorithm of sensor management based on functions of efficiency and waste [J]. Chinese journal of aeronautics, 2000, 13(1):39-103.
- [7] 郝永飞. 传感器管理理论与方法研究[D]. 太原:中北大学, 2005:8-17.
- [8] 朱斯平. 战场多传感器管理系统研究[D]. 成都:电子科技大学, 2012:17-33.
- [9] 刘先省, 潘泉. 基于效能函数的多传感器管理算法研究[J]. 控制与决策, 1999(增刊1):581-585.
- [10] GAN Qiaoqiang, HARRIS C J. Comparison of two measurement fusion methods for Kalman-filter-based multisensor data fusion [J]. IEEE transactions on aerospace and electronic systems, 2001, 37(1):273-279.

(上接第42页)

当永磁无刷直流电机为梯形波磁场和反电势时,这种对电流波动的抑制就是对转矩脉动的抑制。课题组进行了软件仿真和实验,结果验证了论文观点的准确性。

参考文献:

- [1] 王迎发. 无刷直流电机换相转矩波动抑制与无位置传感器控制研究[D]. 天津:天津大学, 2012:7-9.
- [2] 宋小川, 王家军. 开关磁阻电动机转矩特性的检测与建模研究[J]. 机电工程, 2015, 32(11):1477-1482.
- [3] 王兴华, 励庆孚, 王曙鸿, 等. 永磁无刷直流电机换相转矩波动的分析研究[J]. 西安交通大学学报, 2003, 37(6):612-616.
- [4] 高宽, 马钧华. 低速下电机转矩脉动抑制的算法研究[J]. 电气传动, 2015, 45(9):15-19.
- [5] 张相军, 陈伯时. 无刷直流电机控制系统中 PWM 调制方式对换相转矩脉动的影响[J]. 电机与控制学报, 2003, 7(2):87-91.
- [6] 周美兰, 高肇明, 吴晓刚, 等. 五种 PWM 方式对直流无刷电机系统换相转矩脉动的影响[J]. 电机与控制学报, 2013, 17(7):15-21.
- [7] 王大方, 卜德明, 朱成, 等. 一种减小无刷直流电机换相转矩脉动的调制方法[J]. 电工技术学报, 2014, 29(5):160-166.
- [8] 罗宏浩, 吴峻, 赵宏涛, 等. 永磁无刷直流电机换相控制研究[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(24):108-112.
- [9] CARLSON R, LAJOIE-MAZENC M, FAGUNDES J C D S. Analysis of torque ripple due to phase commutation in brushless DC machines [J]. IEEE transactions on industry applications, 1992, 28(3):632-638.
- [10] 蔡东升. 无刷直流伺服电机辨识和转矩脉动抑制的研究[D]. 成都:电子科技大学, 2011:19-31.
- [11] 吴家彪, 马钧华. 伺服系统永磁同步电机参数辨识策略[J]. 轻工机械, 2013, 31(6):45-50.
- [12] 郭浩鸿, 周波, 左广杰, 等. 无刷直流电机转矩观测与电感自适应辨识[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(33):151-158.

[信息 · 简讯]

· 行业简讯 ·

西门子将自动驾驶解决方案纳入软件产品组合

西门子近日宣布将收购面向汽车行业提供仿真软件、工程和测试服务的全球供应商 TASS International。西门子将收购 TASS International 的全部股本,并将其业务整合入西门子数字化工厂集团旗下的 Siemens PLM Software。

TASS International 总部位于荷兰,专注于自动驾驶、集成式安全系统、高级驾驶辅助系统(ADAS)以及轮胎建模等技术,其广泛的解决方案将进一步增强西门子的产品生命周期管理(PLM)软件组合,强化西门子作为系统驱动的产品开发解决方案供应商在全球汽车行业市场的领先地位。TASS International 是集成式安全系统和自动驾驶领域的领导者,而这两大工程领域对整个汽车行业的发展日趋关键。通过将其优势与西门子的 PLM 解决方案相结合,西门子能更好地帮助汽车行业克服当前的市场挑战。

随着主动安全系统和高级驾驶辅助系统等逐渐成为汽车行业的标准配置,车联网和自动驾驶等令人瞩目的行业趋势也对汽车的虚拟与物理验证及确认提出了全新的要求。TASS International 加入西门子,将迎来一个稳定、长期的运营环境,并能充分利用西门子巨大的知识库。这将有助于为复杂汽车功能的验证和确认打造集成工具包,惠及全球汽车行业以及政府机构。

(朱建芸)