

反馈式异步多传感器目标跟踪航迹融合

A new asynchronous multi-sensor track fusion filter with feedback for target tracking

(1.长春光学精密机械与物理研究所 2.中科院研究生院) 郭 爽^{1,2} 王建立¹

GUO Shuang WANG Jian-li

摘要: 传感器信息融合一直以来被认为是改进目标跟踪的一种有效手段。一般的做法是假设所有传感器是同步的,但是这样的假设在实际系统中常常是难以做到的。本文在考虑多传感器目标跟踪时,不依赖于同步假设,即允许各传感器使用不同的采样频率,允许传感器平台与处理中心存在交流延迟等,提出了一种新的基于局部融合跟踪和全局融合跟踪的处理方案。该方案是在分布式融合的基础上,融合处理可以发生在融合区间内的任意时刻。

关键词: 异步多传感器; 航迹融合; 局部融合; 全局融合; 目标跟踪

中图分类号: TP311.13

文献标识码: A

Abstract: Sensor data fusion is recognized as a means to improve target tracking. Common practice assumes that the sensors used are synchronous. Such assumptions are invalid in practice. This paper deals with removing such assumptions when considering the multi-sensor target tracking case. In particular, it assumes that the sensors used can have different data rates and communication delays between local and central platforms. A two level processing approach is taken with both local and global processing levels in this paper. The solution is based on a distributed approach; the fusion process can occur at any time in the interval between a fusion interval.

Key words: asynchronous multi-sensor; track fusion; target tracking; local fusion; global fusion

1 引言

对于多传感器跟踪系统,处理数据的方式主要有分布式和集中式两类。分布式是各处理器在局部处理各自传感器的原始数据。其优点是可以减轻中心处理器的计算负担和复杂性。但此方式处理数据通常要求所有传感器是采样速率确定,并且测量起始点相同,传感器平台与中心处理器没有交流延迟,实现常常不可行。优化的方案是采用集中式,相继处理这些数据,中心处理器获得所有采样点的传感器原始数据集中处理。其优点是可以得到优化的结果。但这需要采样点没有延迟的同时收到同一信息。由于发送信息量巨大,传感器种类不同,及现存通讯系统带宽的限制,执行这种跟踪问题的实时优化方案同样不太可行。为了有效利用多传感器大量信息的优势,考虑到通信延迟,信息传递的无序,及信息的突发性等等,需要一种新的处理技术,异步多传感器融合。

2 反馈式异步多传感器数据融合原理

多传感器跟踪一直以来被认为是在监视区域内捕获目标的一种有效途径,与之伴随的是,多传感器的应用为数据通讯和精确计算处理带来了挑战。对比两种主要处理数据的方式,集中式和分布式,其优缺点已如上所述,除此之外,就现有众多分散式多传感器系统的改造来说,分布式是一种最自然的、合理的和最经济的选择。本文所提出解决方案就是建立在分布式基础之上,应用反馈结构,如图1,利用上一步融合的输出结果及传感器的测量值,分别计算出局部节点的状态估计及误差协方差矩阵,用以更新下一次数据。

不同于使用单一处理器顺序地处理各个传感器的数据,本方案采用了各传感器局部融合与中心处理器全局融合相结合

郭爽:助理研究员 硕士

的方法解决多传感器异步融合问题。在局部层次,每个采样点实时的处理本身的局部传感器信息并且在采样局部信息的同时做出局部跟踪。在不同的时刻这些局部跟踪航迹被送到融合中心等待进一步处理。

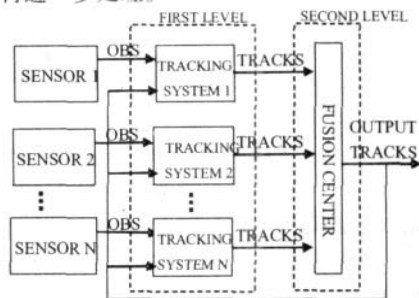


图1 异步多传感器融合原理

3 目标动态特性模型

设跟踪目标动态性能服从以下等式

$$\dot{X}(t) = AX(t) + G\bar{W}(t)$$

其中 $X(t)$ 是在时刻 t 的目标状态矩阵, $\bar{W}(t)$ 是协方差参数高斯白噪声,满足

$$E[\bar{W}(t)\bar{W}^T(\tau)] = q(t)\delta(t-\tau)$$

这里 $E[\cdot]$ 为期望,其线形离散时间系统的一般状态方程可描述为

$$X(t_k) = \Phi(t_k, t_{k-1})X(t_{k-1}) + W_{k-1}^k$$

此处

$$\Phi(t_k, t_{k-1}) = e^{A(t_k - t_{k-1})}$$

$$W_{k-1}^k = \int_{t_{k-1}}^{t_k} \Phi(t_k, \tau) G \bar{W}(\tau) d\tau$$

$$E[W_{k-1}^k (W_{k-1}^k)^T] = Q_{k-1}^k \delta_k$$

$$Q_{k-1}^k = \int_{t_{k-1}}^{t_k} \Phi(t_k, \tau) G q(\tau) G^T \Phi(t_k, \tau)^T d\tau$$

$$E[V_i(k_i)(V_i(k_m))^T] = R_i(k_i)\delta_{im}$$

对于单目标跟踪系统,每个传感器跟踪以上目标动态模型的目标,各传感器的通用观测方程可表示为

$$z_i(t_k) = H_i(t_k)X(t_k) + V_i(t_k) \quad i = 1, 2, \dots, N$$

4 多传感器数据融合的实现——滤波器设计

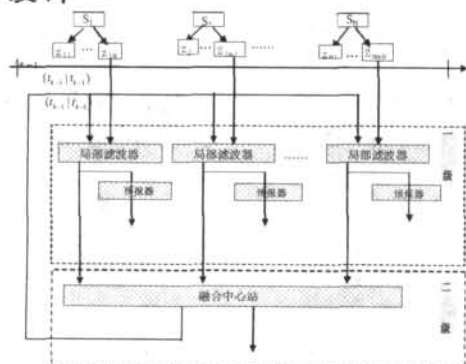


图2 局部和全局滤波算法框图

采用第二节提出的优化方案,应用反馈结构解决非同步融合跟踪问题。如图2所示,各采样点实时处理局部传感器 S_i 的测量结果 z_i 利用局部滤波得到 $X(t_{k-1}|t_{k-1})$ 作为观测量,利用前一步融合结果 $X^*(t_{k-1}|t_{k-1})$ 及 $P^*(t_{k-1}|t_{k-1})$ 作为估计量,我们分别通过局部滤波计算出在时刻 t_k 的状态估计及误差协方差矩阵 $X^*(t_k|t_k)$ 及 $P^*(t_k|t_k)$ 。任意时刻 t_k , N 个滤波器的输出结果被送到二级融合中心,输入至全局融合处理器,经过全局融合,得出状态估计和误差协方差 $X^*(t_k|t_k)$ 及 $P^*(t_k|t_k)$ 。不同于使用单一处理器顺序的处理不同的传感器的数据,一种两个层次的处理方法即局部处理层次和全局处理层次被采用。在局部层次,每个采样点实时的处理本身的局部信息并且 $X^*(t_k|t_k)$ 及 $P^*(t_k|t_k)$ 局部预报器产生 $X^*(t_{k+1}|t_k)$ 及 $P^*(t_{k+1}|t_k)$ 实时引导跟踪系统产生局部跟踪。在不同的时刻这些局部跟踪被送到二级融合中心等待进一步处理。融合处理操作在把所有输入的局部航迹进全局航迹融合之前等待一段给定的时间 $T = t_k - t_{k-1}$, 这段时间可根据需要调节,取决于处理器的处理速度及利用率,执行其它任务的繁忙程度,采样点和跟踪融合点之间的通信延迟,传感器平台与融合中心间通讯的延迟,跟踪目标类型等等。一般来说,目标机动性越大,等待间隔 T 越小。

5 仿真结果

现采用两个非同步传感器。采样频率分别为 100Hz 和 50Hz,并分别有 5 毫秒和 3 毫秒的延时,其时间上延时误差如图3,对并应于仿真理论值,加入空间上的测量误差,如图3。其综合误差如图3。在局部跟踪融合单元,采用卡尔曼滤波算法[1],在全局融合单元应用最小二乘原则,使误差平方和最小。等待间隔 T 为 50 毫秒,即全局融合后的数据为 20Hz。

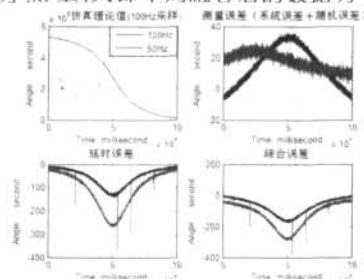


图3 仿真数据

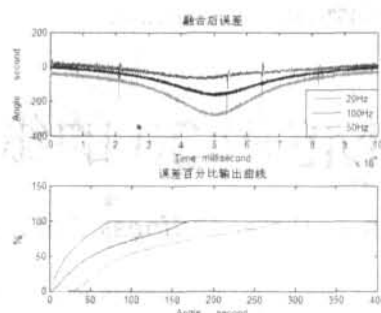


图4 仿真输出

全局融合后 20Hz 数据误差与原始 100Hz、50Hz 综合误差对比如图4,其误差范围明显减小,对于某 100 角秒视场的设备,原始 100Hz、50Hz 数据在相当多帧内目标已丢失。由图知,在 80 角秒视场内,融合后的 20Hz 数据的目标捕获率已达 99.650%,在 100 角秒视场内,捕获率为 99.8%,而原始 100Hz、50Hz 数据在 80 角秒视场内捕获率为 64.786% 和 43.349%,在 100 角秒视场内,捕获率为 72.547% 和 52.771%。综上可见该异步跟踪解决方案明显提高了多传感器的异步跟踪性能。

6 结论

提出的异步多传感器跟踪融合方案在局部和全局两个层面上处理数据,解决了异步问题,在等待间隔 T 内的任何时间点都可以进行融合处理。所设计的滤波器,充分利用了多传感器信息充分的优势,又解决了多传感器常常不能同步的问题,最后给出了该滤波器的仿真结果。接下研究可向具体算法方向考虑,算法的选择,对于整套跟踪系统性能的改进有着重要影响,可根据各传感器类型,跟踪目标类型等特性条件和系统特性等条件设计适合相应跟踪系统的局部融合算法及全局融合算法。另外,对等待时间 T 做适当研究探讨。

本文作者创新点:提出的异步多传感器跟踪融合方案在局部和全局两个层面上处理数据,充分利用了多传感器信息充分的优势,解决了异步问题。

参考文献

- [1]何友,王国宏,陆大,彭应宁.多传感器信息融合及应用[M].电子工业出版社
 - [2]郑大钟.线性系统理论 清华大学出版社
 - [3]Samuel Blackman, Robert Popoli. Design and Analysis of Modern Tracking Systems [M] Artech House radar library
 - [4]周宏仁,敬忠良,王培德.机动目标跟踪[M].北京:国防工业出版社
 - [5]张鹏俊,赵怀慈.微计算机信息[J].2007,12-1:153-154,102
- 作者简介:郭爽(1980—),女,吉林长春人,中科院长春光机与物理研究所工作,助理研究员、硕士,主要从事目标跟踪方面的研究;王建立(1971—),男,吉林长春人,中科院长春光机与物理研究所工作,研究员。

Biography: GUO Shuang (1980—), Female(Han), Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, engineer, master. Now engaged in research and development of target tracking.

(130033 长春市东南湖大路 16 号长春光机所光电对抗部) 郭爽 (Southeast Lake Road 16, Changchun, 130033) GUO Shuang
通讯地址:(130033 长春市东南湖大路 16 号长春光机所光电对抗部) 郭爽

(收稿日期:2008.12.23)(修稿日期:2009.01.25)