

动态自适应的多雷达信息加权融合方法



张良成^{1,2} 王运锋¹

1 四川大学计算机学院 成都 610065

2 成都运为科技有限公司 成都 610042

(zhangliangcheng@stu.scu.edu.cn)

摘要 为利用多源探测雷达航迹数据融合形成精度更高的航迹数据,对多源信息融合理论方法进行研究,结合雷达目标跟踪技术应用需求,基于经典动态加权方法与卡尔曼滤波技术,提出并设计一种动态自适应的多源雷达信息加权融合方法。在不事先预知雷达探测精度及探测环境的条件下,为弥补静态权值分配加权融合方法的缺点,通过设立4种反应数据源质量特点的子项权值,实时分析雷达航迹报告的质量因子,并依据质量因子情况动态地完成多源数据融合,从而得到综合精度优于雷达数据源的融合航迹结果。实测及仿真结果表明,所提方法具有提升精度的特点,并具有可用性,稳健性较好。

关键词: 多源信息融合;卡尔曼滤波;动态加权融合;目标跟踪

中图分类号 TP301

Dynamic Adaptive Multi-radar Tracks Weighted Fusion Method

ZHANG Liang-cheng^{1,2} and WANG Yun-feng¹

1 College of Computing, Sichuan University, Chengdu 610065, China

2 Chengdu Yunwei Technology Co., Ltd., Chengdu 610042, China

Abstract In order to form a more accurate fused track by using multi-source radar track data, the theoretical method of multi-source information fusion classical dynamic weighting method and Kalman filter technology are studied. A dynamic adaptive weighted fusion method of multi-source radar information is designed. To overcome the disadvantage of the static assignment weighted fusion method when the radar detection accuracy and detection environment are unknown, setting up a quality factor which contains 4 subitem weights that reflect the quality characteristics of the data source, and real-time analysis of the quality of radar track reports. Depending on the quality factor to complete multi-source fusion dynamically, and obtain better accuracy fusion track. After practical testing and simulation test, it proves that this method is effective and steady.

Keywords Multi-source information fusion, Kalman filtering, Weighting fusion, Target tracking

为了满足军事 C3I (command, control, communications and intelligence) 系统建设的需求,20 世纪 70 年代初首先在军事领域产生了“数据融合”概念,即将多种传感器获得的数据进行“融合处理”,以得到比单一传感器更加准确和有用的信息^[1-6]。

信息融合概念的基本原则与出发点是:充分利用多种信息源,根据特定标准把多个信息源在空间或时间上的冗余或互补信息进行组合,从而得到对被测对象的一致性解释或者描述,使得该信息系统相对于由其包含的各个子集所构成的系统具有更好的性能。

多源信息融合的目的主要有两个方面:一方面,针对多源信息的冗余性,消除输入信息中的噪声和异常值;另一方面,针对多源信息的互补性,获取与实际应用相关的有价值信息,最大限度地获取所观察对象的完整信息描述。

随时代发展,融合技术得到快速发展,单平台、低层级的融合理论及方法也已日益成熟,但可以注意到融合技术远未达到人脑所拥有的融合能力,因此其也就成为了信息融合技

术未来发展的方向。在近段时间以来,信息融合技术出现了以下一些发展趋势:1)信息一体化融合处理;2)以人为中心的信息融合;3)信息获取与融合的联合优化;4)复杂多传感器信息融合系统体系结构设计;5)信息融合系统仿真与性能评估。近年来实用化愈加成熟的基于神经网络的深度学习技术也开始参与到信息融合中。

本文提到的多雷达信息融合^[7-9]指来自多部雷达的对同一目标的航迹信息进行有效的数据融合,以达到使原有信息复合形成新的更高精度的融合航迹信息。对于多雷达航迹/点迹融合在工程实践中存在的许多种方法,本文采用较为传统的加权融合方式,但对其权值赋值方法进行了改进。加权融合类的多源融合方法中,加权平均时的权值分配是最为关键的部分,直接影响着融合效果的好坏。而权值的分配也可以大致分为静态分配与动态分配两种。

基于多传感器的静态权值最优化分配,其权值确定依赖于各雷达设备的输出精度,一般根据雷达标称方差参数或经验得出。静态权值最优化分配方式,一方面忽视了雷达误差

本文已加入开放科学计划(OSID),请扫描上方二维码获取补充信息。

基金项目:四川省科技厅项目(2019JDRC0042)

This work was supported by the Project of Department of Science and Technology of Sichuan Province(2019JDRC0042).

通信作者:王运锋(yfwang@scu.edu.cn)

是由设备硬件特性和监测实时环境共同造成;另一方面,雷达输出航迹数据,由跟踪滤波算法处理得出,不能直接反应雷达设备本身的探测精度。这样来说,完全依赖于事先静态权值分配的融合方法,在变化场景下的自适应性较弱,不能更好地克服实时监测的不确定性因素。

在复杂实际环境下,雷达探测效果常不如设想的那般满足设计要求,探测结果易受干扰从而出现突然性波动,如雷达航迹位置抖动、多雷达报告同一目标在位置上的不一致、多雷达对同一目标的运动趋势判断不一致等诸多问题。

为解决及抑制此些问题,本文提出一种利用多雷达对同一目标共同探测信息,考察雷达先验误差,根据各雷达实时情况动态自适应生成权值,并根据动态权值进行实时加权平均的多源雷达航迹融合方法。结合实测数据,通过验证得出,此方法在不准确把握雷达误差和实测环境的情况下,能够有效得出精度优于多源雷达报告航迹的融合航迹。

1 质量因子及权值生成

1.1 质量因子构成

本文提出的所谓质量因子,是用于实时反映各雷达报告各航迹质量状态,其表现为质量因子高,则航迹报告稳定且较为准确,反之则航迹报告不稳定或不准确。

而质量因子的组成,可以描述为:

$$Q(i) = \sum (f(i), F(i), d(i), s(i)) \quad (1)$$

即某雷达航迹 i 的质量因子 $Q(i)$ 为其频率权值 $f(i)$ 、拟合程度权值 $F(i)$ 、基于距离的信任权值 $d(i)$ 、报告可靠程度权值 $s(i)$ 之和。

在进行航迹加权平均融合时,本文所用的分配“权值”则可以表述为:

$$P(i) = \frac{Q(i)}{\sum_{j=0, j \neq i}^n Q(j)} \quad (2)$$

即任一雷达航迹 i 的加权权值 $P(i)$ 为其质量因子 $Q(i)$ 与从属于同一融合航迹关联集合的其他雷达航迹 j 的质量因子 $Q(j)$ 之和求比得出。

加权权值反映雷达航迹在加权平均融合过程中的贡献程度,也就是其信息对融合航迹更新的影响程度。但此种表示占比的权值,并不能完全反映雷达航迹质量(航迹可靠性),因此在本文提出的改进方法中,利用权值 P 进行的加权平均融合只作为初步结果,在此种初步预测之后进行一次质量平均估计及校正,来解决分配权重 P 不能完全反映雷达报告航迹质量的问题,详细内容请见第 2 节。

1.2 频率权值

在多传感器融合情况下,各传感器的探测周期及报告周期在多数情况下是不一致的。某一传感器的规定时间内产生的信息量,往往与其探测频率正相关。利用此种特点,本文设置频率权值。频率权值 f 反映针对雷达航迹的更新速率与该雷达航迹在场景下提供信息的能力。其生成方式可表示为:

$$f(i) = \frac{\text{count}_{\text{update}}(i)}{\text{count}_{\text{sys}}} \quad (3)$$

即雷达航迹 i 的频率权值 $f(i)$ 为其累计更新次数 $\text{count}_{\text{update}}(i)$ 与融合系统工作周期数 $\text{count}_{\text{sys}}(i)$ 得到。其理论上的极限为:

$$\lim_{i \rightarrow \infty} f(i) = \frac{T_{\text{radar}}(i)}{T_{\text{sys}}} \quad (4)$$

即当融合系统运行周期趋于无穷时,对于雷达航迹 i ,它的频率权重趋于此雷达报告周期与融合系统周期的比值,其中 $T_{\text{radar}}(i)$ 为雷达航迹 i 所属雷达的报告周期, T_{sys} 为融合系统周期。在工程应用中,一般对频率权值 f 做人设为限。

通常,雷达提供信息的能力愈强,其相关的雷达航迹的频率权值愈高。

1.3 拟合程度权值

传感器探测结果,受限于设备特性,不可避免地出现波动及偏差,为了反映此类偏差在邻近融合周期内的情况,设置拟合程度权值。拟合程度权值 F ,指利用一段时间内收集到的雷达报告航迹信息进行数值拟合,形成拟合运动曲线,并通过拟合度来评价源雷达报告航迹的离散程度。

本文使用的拟合方法为最小二乘法一次线性拟合,拟合直线反映各轴向位移关于时间的分布,拟合度依据“剩余平方和校验”得出。

拟合程度权值生成方式可为:

$$F(i) = \max(R_x, R_y), F(i) \in [0, 1] \quad (5)$$

即雷达航迹 i 的拟合程度权值取 X 轴方向与 Y 轴方向中拟合度的最大值。而拟合度 R 的表达式如下:

$$R = 1 - \frac{SSE}{SSR + SSE} \quad (6)$$

其中, SSE 指剩余平方和, SSR 指回归平方和,关于 SSE 及 SSR 的求解办法请参见经典数理理论,本文不做赘述。

通常,对于一雷达航迹 i ,其拟合程度权值 $F(i)$ 越接近 1,其最近一段时间内的航迹报告空间离散程度越低,可信度越高。

1.4 基于距离的信任权值

在融合航迹趋于稳定的情况下,雷达探测受多种原因报告出现未预知的突发性波动时,其报告位置信息与融合航迹的物理距离差会扩大,若仍直接应用此类异常报告数据,将使得融合航迹在此周期内也出现同步的波动,对此设置基于距离的信任权值。

基于距离的信任权值 d ,目的是考察滤波雷达航迹位置与融合航迹惯性预测位置的距离差异程度,其间接反映了该雷达航迹报告的可信度。

滤波雷达航迹,指在收到新雷达报告航迹后,经过卡尔曼滤波(Kalman filtering, KF)^[11-12]处理后得到的优化的雷达报告航迹,其如何参与到加权平均融合的方式详见第 2 节。本文使用标准 KF 滤波器,限于篇幅,不做叙述。

对于基于距离的信任权值,其表达式如下:

$$d(i) = d_{\text{max}} \left(1 - \frac{\text{dis}(i)}{S}\right), d \in [0, d_{\text{max}}] \quad (7)$$

其中, d_{max} 表示设置的基于距离的信任权值的上限; $\text{dis}(i)$ 表示滤波雷达航迹与其关联融合航迹的惯性预测位置的欧氏距离; S 表示融合系统设置离群距离门限。

通常,在某一时刻滤波雷达航迹在空间上与其关联的融合航迹的自预测位置越接近(值越大),此滤波雷达航迹提供的信息在此时刻就越可信。

1.5 报告可靠程度的权值

雷达探测误差不仅体现在空间距离上,更会出现物理运动趋势上的歧义,如回退报告。雷达航迹报告出现回退或左右摇摆时,为避免此类误差数据影响融合结果,设立报告可靠程度权值。报告可靠程度权值 s ,指根据历史最近雷达航迹

报告得出航向差异,以反映雷达报告在航向航速上的波动情况。

为避免雷达报告航迹中速度误差扩散至权值计算中,本文使用历史最近雷达航迹中的位置信息,在两点之间求近似航向与相邻两航向的夹角。再利用此近似航向夹角来估计雷达航迹报告在航向航速上的波动情况。

报告可靠程度权值的生成过程可表示为:

$$s(i) = g(\theta), s(i) \in [s_{\min}, s_{\max}] \quad (8)$$

$$g(x) = \frac{s_{\min} - s_{\max}}{a}x + s_{\max} \quad (9)$$

即雷达航迹 i 在邻近周期时间内,其报告可靠程度权值 s 由近似航向夹角 θ 代入函数映射 $g(x)$ 得出。 $g(x)$ 函数为一阶线性函数,其中 a 为设定容许最大变动角度, s_{\max} 为设定权值上限, s_{\min} 为设定权值下限。

通常,任一雷达航迹报告、历史窗口内航迹报告在空间上的分布越接近直线,其报告可靠性权值越高,其在此时段内的可信度越高。但可以注意到,在雷达引导转弯的过程中,通过此方式来判断报告可靠程度将会出现偏差,对此本文针对性地提出补偿机制,详情请见第 2 节。

2 基于质量因子的评估与融合

本文提出的动态自适应加权融合办法,涉及两个主要步骤:1)动态加权平均融合;2)总体质量评估与校正。融合系统的主要框架及融合流程如图 1、图 2 所示。

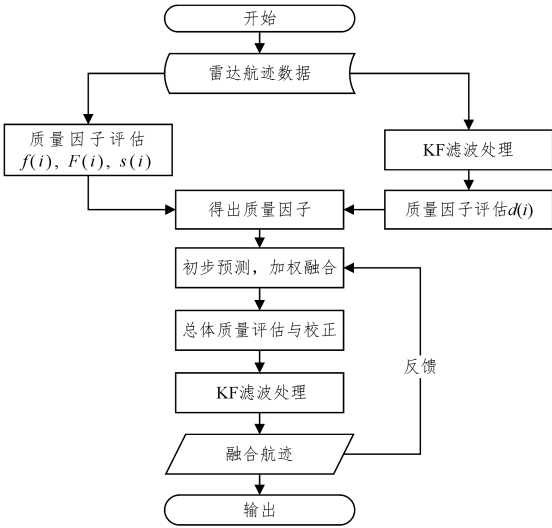


图 1 融合系统的基本工作流程

Fig. 1 Basic work flow of integration system

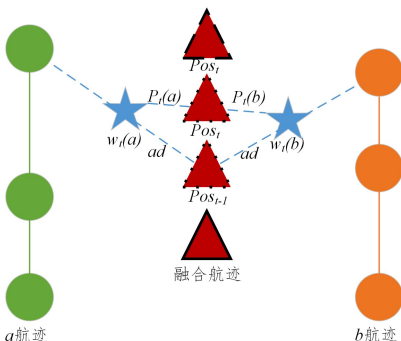


图 2 动态自适应多源航迹加权融合思想

Fig. 2 Dynamic adaptive multi-source track weighted fusion idea

2.1 动态加权平均融合

本文中的加权平均融合过程,即前文提到的初步预测,其工作可表示为:

$$Pos_t' = \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix}_t = \sum_{i=0}^n \omega_t(i) \cdot P_i(i) \quad (10)$$

即 t 周期初步预测的融合航迹新位置 Pos_t' ,为与其关联的各滤波雷达航迹,在 t 周期预估的融合航迹位置 $\omega_t(i)$ 与航迹权值 $P_i(i)$ 乘积之和。

滤波雷达航迹在 t 周期对融合航迹的预估位置 $\omega_t(i)$ 的获取方式如下:

$$\omega_t(i) = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix}_t = r_t(i) \cdot (1-ad) + Pos_{t-1} \cdot ad \quad (11)$$

滤波雷达航迹 t 周期预估的融合航迹位置 $\omega_t(i)$,由以下两个部分的位置数据,根据平衡因子 ad , $ad \in [0, 1]$ 取舍得到。

(1)结合 t 周期的雷达新报告航迹进行 KF 处理后得到的滤波雷达航迹自我位置 $r_t(i)$,其获取形式可参见通常航迹滤波跟踪,本文不做赘述。

(2) $t-1$ 周期最新融合航迹输出位置 Pos_{t-1} 。

$t-1$ 周期最新融合航迹输出位置 Pos_{t-1} 在 $t-1$ 周期总体评估校正(见第 2.2 节)完成时得到。

针对前期实验显示出的,在转弯情况下,滤波雷达航迹 t 周期预估的融合航迹位置 $\omega_t(i)$ 难以适应转弯机动的问题,对于各雷达航迹,对其 $\omega_t(i)$ 是否引导转弯会根据进行一次判断与补偿,得出经转弯补偿的 t 周期预估融合航迹位置 $\omega_t'(i)$,表达式如下:

$$\lambda = \frac{\pi\theta}{180} \quad (12)$$

$$\omega_t'(i) = \begin{bmatrix} \cos(\lambda) & \sin(\lambda) & 0 \\ -\sin(\lambda) & \cos(\lambda) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot (\omega_t(i) - r_t(i)) + r_t(i) \quad (13)$$

其中, θ 指 $t-1$ 周期至 t 周期,航迹数据在航向上的变动夹角。

此过程使滤波雷达航迹对融合位置的预测结果 $\omega_t(i)$,跟随转弯趋势进行调整,以使在初步预测中融合航迹尽快适应转弯情况,而不会由于该滤波航迹 t 周期的报告可靠程度因子 $s_t(i)$ 下降而丢失引导转弯的信息。

另外,在工程实践中,平衡因子 ad 在各周期的取值可以是一个动态的过程,其具体实现思想和方法多样,本文不做赘述。

结合测试实验发现,经过初步预测后得到的融合航迹新位置 Pos_t' ,只是考虑各雷达在权值占比上的影响,并未对 t 周期融合时全体雷达的总体质量情况进行考察,导致在 t 周期内各雷达报告均不理想的情况下,得出结果对融合不具备提升效果。

2.2 总体质量评估及校正

为弥补初步预测结果 Pos_t' 的不足,在进行初步预测得出 Pos_t' 后,针对任一融合航迹将对与其关联的全部雷达航迹进行总体质量考察,根据考察结果在初步预测结果和融合航迹

自预测结果间进行一次校正,再经过 KF 滤波器滤波后得出误差更为小的融合航迹输出结果。

对任一融合航迹的总体评估校正流程可划分为如下步骤。

(1)首先,统计 t 周期全体关联的滤波雷达航迹总体质量情况,具体可描述为:

$$Qt_{y_t} = \frac{\sum_{i=0}^n Qt(i)}{Q_{base} \cdot count_{t_{eff}}}, Qt_{y_t} \in [0, 1] \quad (14)$$

$$Q_{base} = \sum(f_{max}, F_{max}, d_{max}, s_{max}) \quad (15)$$

其中, Q_{base} 为第 1 节中提及的 4 项权值的最大值之和, $count_{t_{eff}}$ 为 t 周期数据有效的滤波雷达航迹数目, Qt_{y_t} 表示 t 周期全体关联的滤波雷达航迹总体质量情况。 Qt_{y_t} 值愈接近于 1 则总体质量愈佳,表明 t 周期雷达探测信息的可信度较好。

而后,根据 t 周期 Qt_{y_t} 情况,在初步预测后得到的融合航迹新位置 Pos_t' 与融合航迹惯性预测结果 Pos_t^{pred} 间进行一次校正,其表示式如下:

$$Pos_t = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_t = Pos_t' \cdot Qt_{y_t} + Pos_t^{pred} \cdot (1 - Qt_{y_t}) \quad (16)$$

其中, Pos_t^{pred} 为基于 $t-1$ 周期位置及运动状态的融合航迹惯性预测位置数据, Pos_t 为 t 周期总体评估后的融合航迹位置数据。

(2)最后, t 周期总体评估后的融合航迹位置数据 Pos_t 进入 KF 滤波器进行优化滤波,得出 t 周期最终的融合航迹输出结果。具体形式如下:

$$Pos_t \xrightarrow{KF} Pos_t \quad (17)$$

3 测试与分析

为验证本文方法的有效性,对其做了真实场景下及仿真场景下的测试,并利用仿真数据评估其对雷达航迹数据的提升效果。

在真实场景及仿真场景下,质量因子评估、总体质量评估及校正所使用的人工设定参数,如表 1 所列。

表 1 相关设定参数
Table 1 Relevant setting parameters

参数	取值
f_{max}	1.0
F_{max}	1.0
d_{max}	1.0
s_{min}	0
s_{max}	2.0
S	175 m
a	60°
Q_{base}	5.0
ad	0.56

3.1 真实数据测试情况

(1)真雷达独立情况

使用于唐山地区,实测无人飞行器雷达数据,以验证本文方法的实际可用性及有效性。唐山场景的融合处理中心的经度、纬度、高度,分别为 118.152846, 39.650888, 0。此场景下工作的雷达有 4 部,其分布及探测周期如表 2 所列。图 3 给出了参与融合的雷达报告的航迹效果。

表 2 实测雷达分布及探测周期

Table 2 Real radar distribution and detection period

	雷达 202	雷达 203	雷达 205	雷达 206
经度	118.15560	118.19154	118.19159	118.15285
纬度	39.61833	39.64112	39.64110	39.65089
高度	105	78	63	115
探测周期/ms	6025	2000	10000	7200

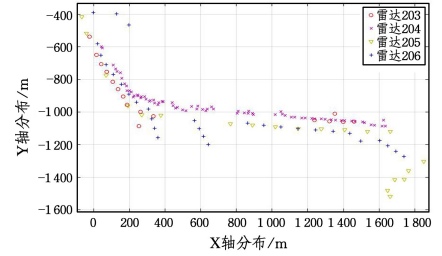


图 3 唐山场景雷达航迹分布

Fig. 3 Radar track distribution in tangshan scene

可见,雷达航迹在分布上较为离散且存在系统误差,同时受不可知因素干扰,雷达航迹还出现了较为严重的波动。

(2)真融合单独情况

图 4 给出了融合航迹单独展示的结果。

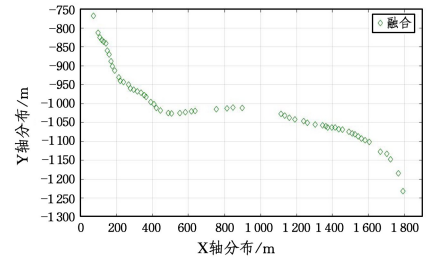


图 4 唐山场景融合航迹分布

Fig. 4 Track distribution of tangshan scene fusion

区别于雷达报告的航迹数据,融合航迹已实现在时序和空间上的稳定,不出现前后及左右的位置波动,航向上也更为稳定。

(3)真雷达融合复合

进行总体对比后可以看到,融合航迹消除了雷达报告中出现的前后/左右偏差,维持了较好的稳定性,包括位置及航向。同时吸收了各雷达报告数据信息,得出了较为接近真值的结果,消除了雷达系统误差。

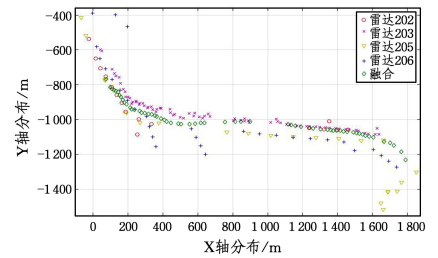


图 5 唐山场景融合效果

Fig. 5 Tangshan scene fusion effect

3.2 仿真数据误差分析

(1)仿真数据测试

图 6 给出了仿真真值目标航迹与融合航迹的实际输出对比。图中可见,融合航迹与真值航迹在多数时间内位置接近,且融合航迹一贯平滑稳定。

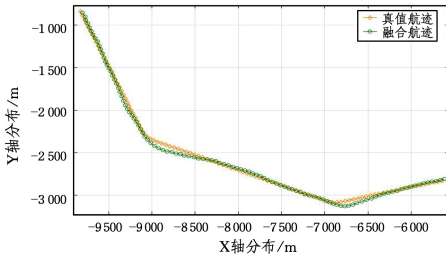


图6 仿真场景融合航迹与真值航迹分布

Fig. 6 Fusion of track and true track distribution in simulated scenes

图7给出了雷达报告航迹与仿真真值航迹的对比情况。可以看到,雷达s201在距离误差上较小而方位误差较大,航迹报告左右乃至前后摆动;雷达s202在距离误差及方位误差上都较大。两者的随机误差分布近似于高斯分布的情况。

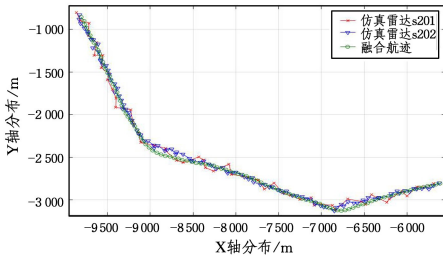


图7 仿真场景雷达航迹与融合航迹的整体分布

Fig. 7 Local distribution of radar track and fused track in simulated scene

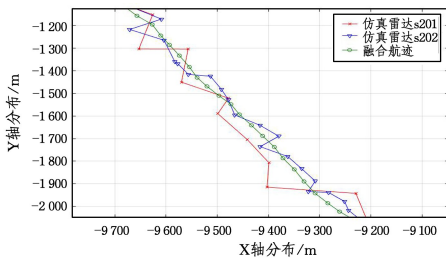


图8 仿真场景雷达航迹与融合航迹局的部分布1

Fig. 8 Local distribution of radar track and fused track in simulated scene 1

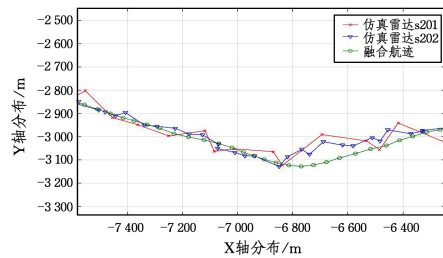


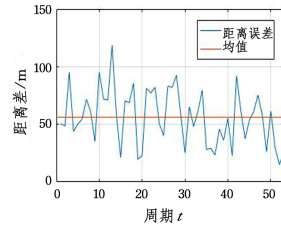
图9 仿真场景雷达航迹与融合航迹的局部分布2

Fig. 9 Local distribution of radar track and fused track in simulated scene 2

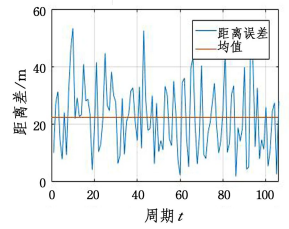
在仿真场景下,可以看到,雷达报告航迹稳定性差,出现较大的距离误差及在航向上的波动。基于本文方法处理后,输出的融合航迹在距离及航向上的稳定性高于雷达报告,仅在转弯处出现了一定滞后情况,其取得的融合效果是较好的。

(2) 仿真误差分析

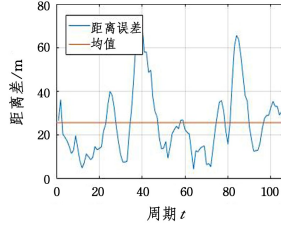
为进一步比较融合系统的处理效果,做距离误差对比及近似航向误差对比。



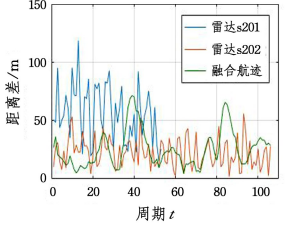
(a) 雷达 s201 距离误差



(b) 雷达 s202 距离误差



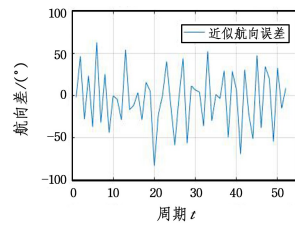
(c) 融合航迹距离误差



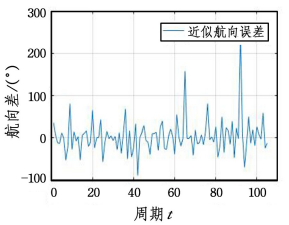
(d) 距离误差的比较

图10 仿真场景距离误差的比较

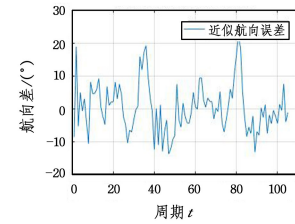
Fig. 10 Comparison of distance errors in simulated scenes



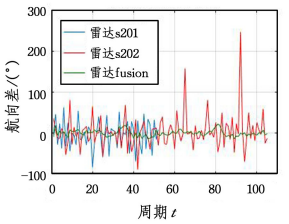
(a) 雷达 s201 近似航向误差



(b) 雷达 s202 近似航向误差



(c) 融合航迹近似航向误差



(d) 近似航向误差的比较

图11 仿真场景近似航向角误差的比较

Fig. 11 Comparison of approximate heading angle errors in simulated scenes

经比较可见,在不同雷达传感器精度误差较大的情况下,融合航迹距离误差精度接近误差最优雷达传感器,同时在方位精度上大幅优于雷达传感器自身。

但也可以看到,本文方法仍有部分不足之处,譬如在机动转弯过程中,雷达存在引导转弯趋势,但其局部时域内质量因子低,为保持融合航迹稳定性,使得融合航迹丧失部分机动灵活,导致转弯过程滞后,扩大了距离误差,这是有待改进之处。

结束语 在分布式同源/异源多雷达环境下,各雷达使用独立的多目标跟踪处理系统,融合中心接收来自各雷达信息处理系统的航迹信息后,需将不同雷达对同一目标的追踪航迹进行关联及融合处理,来获得精度更高的融合航迹。加权平均方法是工程中较为常见的多雷达航迹融合方法,其中权重分配依赖于各雷达的输出航迹精度,而此类精度难以简单准确得到,从而影响到静态的最优权重分配。本文利用多雷达传感器对同一目标跟踪航迹信息,采用动态自适应办法得出实时分配权重,进而实现提高融合航迹的精度。经实测及仿真实验,本文设计方法具有可用性,能满足多数实际场景下

的需求。但能注意到,此方法在转弯机动目标跟踪方面仍存在不足,需要加以改进。

参 考 文 献

- [1] LI Y, ZHAO M, XU M Y, et al. A survey of research on multi-source information fusion technology[J]. Intelligent Computer and Applications, 2019, 9(5): 186-189.
- [2] YANG X M, ZHANG J L, ZHAO Z H. Research on multi-source information fusion technology and its application[J]. Wireless Internet Technology, 2019, 16(18): 133-134.
- [3] PAN Q, WANG Z F, LIANG Y, et al. Basic methods and progress of information fusion(II)[J]. Control Theory & Applications, 2012, 29(10): 1233-1244.
- [4] ZHAO Z G. Current Status. Concept and Structure Model of Information Fusion Technology[J]. Journal of China Academy of Electronics and Information Technology, 2006(4): 305-312.
- [5] CHEN K W, ZHANG Z P, LONG J. Multisource Information Fusion; Key Issues, Research Progress and New Trends[J]. Computer Science, 2013, 40(8): 6-13.
- [6] HAN Z Q, YU J J, LI N X, et al. Overview of Information Fusion Technology[J]. Journal of Intelligence, 2010, 29(S1): 110-114.
- [7] HE Y, LU D, PENG Y N, et al. Two new track correlation algorithms in multisensor data fusion system[J]. Acta Electronica Sinica, 1997(9): 10-14, 19.
- [8] HE Y, PENG Y N, LU D. Fuzzy Track Correlation Algorithms for Multitarget and Multisensor Tracking[J]. Acta Electronica Sinica, 1998(3): 3-5.
- [9] SONG X Q, SUN Z K. Tracking a Maneuvering Target with Multisensor[J]. Acta Electronica Sinica, 1997(9): 98-101.
- [10] PENG D C. Basic Principle and Application of Kalman Filter[J]. Software Guide, 2009, 8(11): 32-34.
- [11] ZHANG Y M, DAI G Z, ZHANG H C. The New Development of Kalman Filtering Algorithms[J]. Control Theory & Applica-

tions, 1995(5): 529-538.

- [12] ZHAO Z C, LIU Y, XIAO S P. Dynamic Weighted Fusion Algorithm and Its Accuracy Analysis for Multi-Radar Localization[J]. Electronics Optics & Control, 2010, 17(5): 35-37, 58.
- [13] CHENG J X, SHI Y K. A Novel Consensus Multi-sensor Data Fusion Algorithm based on Dynamic Weighted[J]. Fire Control and Command Control, 2008(8): 75-78.
- [14] LIU J B, WANG Y F. Study on the Algorithm of Distributed Radar Tracks Fusion[J]. Journal of Sichuan University(Engineering Science Edition), 2006(6): 119-122.
- [15] HUANG Y P, ZHOU Y F, ZHANG H B, et al. Algorithm of weighting factors dynamic allocation in multi-radar track weighted fusion[J]. Journal of Computer Applications, 2008(9): 2452-2454.
- [16] LING L B, LI Z G, CHEN C Y, et al. Optimal Weight Distribution Principle Used in the Fusion of Multi-sensor Data[J]. Journal of Chinese Inertial Technology, 2000(2): 33-36.
- [17] LI Y W, HU J W, JI B. New index for evaluation of the accuracy of the track fusion algorithm[J/OL]. Journal of Xidian University: 1-10. [2020-01-10]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1076.TN.20191104.1509.002.html>.



ZHANG Liang-cheng, born in 1996, postgraduate. His main research interests include multi-source information fusion and target tracking.



WANG Yun-feng, born in 1975, Ph.D. His main research interests include multisource information fusion and big data analysis.

(上接第 295 页)

- [10] HUFFAKER B, FOMENKOV M, CLAFFY K, DRoP; DNS-based Router Positioning [C] // ACM SIGCOMM Computer Communication Review (CCR). 2014: 6-13 .
- [11] CHEN J N, SHI F L, LUO X Y. Towards IP Location Estimation Using the Nearest Common Router[J]. Journal of Internet Technology, 2018(19): 2097-2110.
- [12] Planetlab. 2020[OL]. <http://www.planetlab.com>.
- [13] KATZ-BASSETT E, JOHN J P, KRISHNAMURTHY A, et al. Towards IP geolocation using delay and topology measurements [C] // Proc. of the 6th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement. 2006: 71-84.
- [14] WONG B, STOYANOV I, SIRER E G. Octant: A comprehen-

sive framework for the geolocation of Internet hosts[C] // 4th USENIX Symposium on Networked Systems Design & Implementation (NSDI'07). USENIX Association, 2007.

- [15] ERIKSSON B, BARFORD P, MAGGS B, et al. Posit: a lightweight approach for IP geolocation [J]. Sigmetrics Perform. Eval. Rev. , 2012(40): 2-11.



ZHAO Qian, born in 1992, MS candidate. Her main research interests include IP geolocation, network measurement and network security.