

基于样本统计的传感器实侦误差标校及运用方法

刘敬蜀 刘旭波 李少猛

(91977部队 北京 102200)

摘要 由于雷达等传感器测量数据中的误差是时变的,如果没有及时对传感器测量误差参数进行估计和补偿,则会影响测量数据的精度,导致后续多传感器数据的关联正确率和融合定位精度降低。针对上述问题,文中提出了基于样本数据统的传感器误差标校及运用方法,能利用传感器的历史测量数据估计不同网格扇区分布内的系统误差和误差椭圆参数,解决了传感器测量数据误差参数的快速标校问题。

关键词: 误差标校;系统误差;误差椭圆;网格分布

中图分类号 TP391

Grid Calibration and Application of Sensor Error Parameters Based on Sample Data Statistics

LIU Jingshu, LIU Xubo and LI Shaomeng

(Unit 91977, Beijing 102200, China)

Abstract Since the errors in the measurement data of sensors such as radar are time-varying, if the measurement error parameters of sensors are not estimated and compensated in time, the accuracy of the measurement data will be greatly deteriorated, and then resulting in a decrease in the accuracy of the subsequent multi-sensor data association. To solve the above problems, a method of sensor error calibration and application based on sample data statistics is proposed, which can estimate the system error and error ellipse parameters in different grid sector distribution by using the historical measurement data of the sensor, as a result, the problem of fast calibration of sensor measurement data error parameters are solved effectively.

Key words Error calibration, System error, Error ellipse, Grid distribution

0 引言

当代海上和空中监视系统是由能提供位于传感器公共覆盖区域内的目标数据的传感器网络组成,一个监视系统的目标就是通过从传感器获得的原始数据计算和显示出目标的真实状态。传感器测量数据是要融合的数据源,因此数据融合系统成为所有监视系统的重要内容。数据融合系统联合传感器探测,从而达到比来自于单传感器的探测更好的精度和鲁棒性等。但通常传感器上报的测量数据中包含有系统误差和随机误差参数,如果不对传感器测量误差参数进行估计和补偿,直接降低传感器测量数据的精度,则会影响后续融合处理的关联正确率和跟踪定位精度。例如,当多部传感器进行数据融合时,各传感器系统误差的存在可能导致航迹的分裂和误相关^[1],使融合航迹的精度变差,不能最佳地达到多传感器组网的目的。传统的系统误差估计方法是基于合作目标进行误差估计的^[2],在没有合作目标的情况下则难以实现。由于系统误差是缓慢变化的,在一段时间内可以看做是固定的,因此在实际工程应用中需要使用近期估计的参数进行补偿^[3-5]。随机误差主要由传感器出厂参数(测距精度、测角精度)体现,在数学模型

上表现为误差椭圆^[6-7],但在实际测量数据中包含的随机误差和出厂参数不一致,因此需要根据测量的样本数据对随机误差进行重新估计^[8]。

针对上述问题,本文提出了基于样本数据统的传感器网格化误差标校方法,能基于传感器的测量数据样本,采用样本数据统估计的方法,计算传感器不同扇区内测量数据的系统误差和误差椭圆。同时,将估计结果进行网格化存储,能对不同扇区内的测量数据进行补偿,对工程应用具有一定的参考价值。

1 样本数据误差参数的网格化表示和估计原理

在传感器的日常侦察过程中,往往会产生大量的测量数据,测量数据中包含的误差信息具有很高的研究价值。经研究发现,在传感器不同距离不同方位的测量数据中包含的误差参数是不同的,因此对传感器的测量数据设计了网格化存储和表示方法。以探测范围 100 km 的雷达为例,将距离划分为 25 km、50 km、75 km、100 km 等 4 个刻度,将方位划分为 30°、60° 和 360° 等刻度,从而将雷达探测区域划分成 48 个扇形网格区域。针对每个网格区域内的测量数据,由于该区域内的误差参数是相同的,因此在后续进行

作者简介:刘敬蜀(1987—),博士,工程师,研究方向为信号分析。

误差参数估计时,可利用该区域内的所有样本数据统计得到一组误差参数。以一个固定点为例,通过雷达探测数据(距离精度 200 m、方位精度 0.2°)仿真软件对该固定点进行多次探测产生多个样本数据,生成样本数据的分布如图 1 所示。下面的黑点为目标真实位置,上面的区域为样本数据形成的区域,区域中的点为样本数据的平均值。两点的位置差就是系统误差,以区域中的点为中心,阴影的分布就是随机误差。

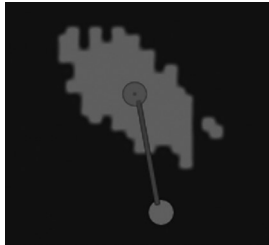


图 1 误差参数估计原理

从图 1 可以看出,在获取大量样本数据和真值的情况下,系统误差的估计比较简单。由于系统误差具有缓变的特性,通常在一段时间内可采用固定的系统误差进行补偿。对于具备真值或合作目标提供的历史数据,可通过基于最小二乘的离线空间配准算法估计绝对系统误差参数。对于没有真值和合作目标提供高精度定位导航数据的情况,可采用基于最小二乘的离线空间配准算法估计雷达的相对系统误差参数。由于关于雷达等传感器系统误差估计补偿方法的研究文献较多,因此本文主要对雷达探测随机误差参数的样本统计方法开展研究。为了表示随机误差分布与目标位置的关系,可按照上述方法在划分的每个网格区域内以网格中心为圆点,仿真生成 48 组样本数据,最终仿真得到的网格化误差参数示意图如图 2 所示。

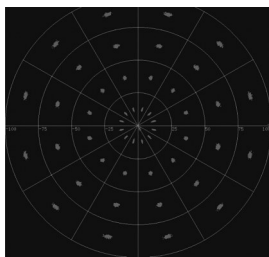


图 2 样本数据误差参数的网格化表示

从图 2 可以看出,由随机误差引起的样本数据分布与目标相对于雷达的距离和方位有关。在目标相对距离相同的情况下,不同方位上的随机误差参数分布形状不同,但误差分布面积相同。在方位相同的情况下,不同距离上的随机误差参数分布面积不同,但误差分布形状相同。在数据统计领域,随机误差的数学描述通常用误差椭圆来表示。由于误差椭圆不但能从几何图形上形象的描述随机误差的分布形状^[9]和分布面积,也能便于网格化误差参数存储。因此,需要对每个网格区域内样本数据的误差椭圆参数进行估计。

2 误差椭圆参数的计算方法

在图 2 中的每个网格区域,样本数据中随机误差的分布可以用 95% 置信度的误差椭圆来进行数学表示,即用最小的误差椭圆覆盖网格区域内 95% 的样本数据^[10]。网格内的样本数据是针对同一固定点进行观测获取的,在当目标运动时,可以通过计算运动样本数据与真值的差值,然后将差值平移到网格中心,从而适用于固定目标和运动目标的样本数据误差参数的估计场景。下面将详细推导一下误差椭圆的计算过程。针对每一个网格区域,以样本数据的平均值即椭圆中心点 (x_0, y_0) 与雷达位置的连线方向做一条直线 P ,过椭圆中心点在直线 P 的法线方向做另一条直线 M ,如图 3 所示。

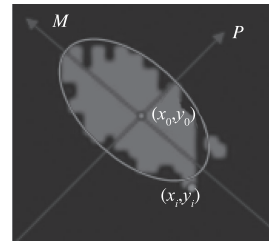


图 3 单网格数据分布

图上直线 P 的方程为 $y = k_0x$, 其中斜率 $k_0 = y_0/x_0$; 直线 M 的方位为 $y = -\frac{1}{k_0}x + b$, 截距 $b = y_0 + \frac{x_0}{k_0}$ 。根据点到直线的距离方程可以得到网格内任意一点 (x_i, y_i) 到直线 M 的距离为 $D_i^M = \frac{kx_i - y_i}{\sqrt{k^2 + 1}}$, 点 (x_i, y_i) 到直线 P 的距离为 $D_i^P = \frac{x_i + ky_i - kb}{\sqrt{k^2 + 1}}$ 。取 D_i^M 和 D_i^P 的最大值 $\max D_i^M$ 和 $\max D_i^P$ 作为所求误差椭圆长半轴和短半轴的初值 a_0 和 b_0 , 误差椭圆倾角可根据网格中心的方位角获取, 即 $\theta_0 = \arctan\left(\frac{x_0}{y_0}\right)$ 。以网格中心为原点, 初始误差椭圆如图 3 所示。由于此目的是求出覆盖 95% 样本数据条件下的面积最小的误差椭圆, 因此设计了最小误差椭圆的计算流程, 如图 4 所示。

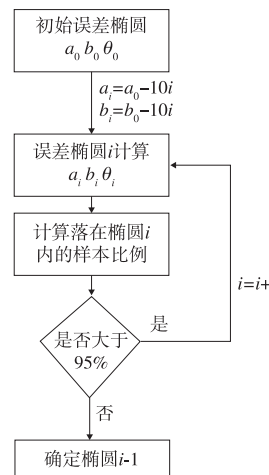


图 4 最小误差椭圆计算流程

在图4中,判断一点 (x_i, y_i) 是否落入误差椭圆 i 的方法是将 (x_i, y_i) 按照椭圆倾角 θ_0 进行旋转转换,以椭圆中心 (x_0, y_0) 为原点,长半轴和短半轴分别为 X 轴和 Y 轴的直角坐标系下的坐标 (x'_i, y'_i) ,转换过程如式(1)所示:

$$\begin{aligned} x'_i &= \cos(\theta_0)(x_i - x_0) + \sin(\theta_0)(y_i - y_0) \\ y'_i &= \cos(\theta_0)(y_i - y_0) - \sin(\theta_0)(x_i - x_0) \end{aligned} \quad (1)$$

然后,计算 ρ_i 是否小于1,如果小于1则表示 (x_i, y_i) 在该椭圆内,否则表示 (x_i, y_i) 不在该椭圆内。 ρ_i 的计算如式(2)所示:

$$\rho_i = \frac{(x'_i)^2}{a_0^2} + \frac{(y'_i)^2}{b_0^2} \quad (2)$$

经过上述过程,最终得到满足95%置信度的最小误差椭圆,如图5所示。



图5 最小误差椭圆与样本数据关系

按照图5中最小误差椭圆的计算方法对所有网格区域进行误差标校,误差标校后的椭圆分布如图6所示。

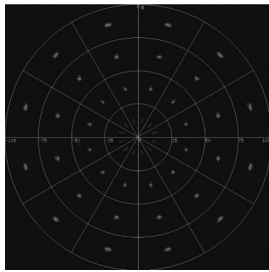


图6 网格化误差椭圆分布

3 标校数据的运用方法

从图6可以看出,在相同距离不同方向的网格区域内,误差椭圆的形状基本相同,但椭圆倾角不同。在相同方位不同距离的网格区域内,误差椭圆的形状变化比较明显。基于以上结论,在使用合作目标对传感器进行误差标校样本数据采样时,只需对同一方向不同距离的网格区域进行样本数据采样统计,然后进行旋转变换即可得到其他网格区域内的误差椭圆参数。当传感器所有网格内的误差参数标校完成后,需要进行网格化数据库存储。对于传感器的后续量测,首先通过坐标转换判断其来源的网格区域,然后

通过数据库查询其对应的系统误差和误差椭圆参数,最终使用查询的误差参数对传感器量测进行误差补偿处理。当针对传感器量测查询到的网格区域内没有误差参数时,可获取附近网格区域内的误差参数,通过插值计算即可。经过上述步骤,传感器实侦误差标校能达到提高传感器测量数据精度的目的,同时有助于提高后续关联、融合和识别结果的准确性。

4 结语

传感器实侦误差标校技术是多源数据融合需首先解决的关键问题之一,如果误差参数估计不准,则直接影响后续的关联、跟踪和识别精度。本文从样本数据统计分析的角度研究了传感器误差参数的网格化分布原理,并从数据模型的角度描述了最小误差椭圆的推导过程,得到了所有网格区域内误差参数的计算和存储方法。最后,给出了传感器误差椭圆参数运用的建议和步骤,对传感器实侦误差标校的工程应用具有一定的参考价值。此外,本文是在二维平面情况下对传感器探测误差椭圆参数的分布和估计进行了相关研究,对于空中探测传感器,可将其空间探测区域划分为三维扇区网格区域,按照本文描述的方法进行传感器实侦误差的标校和运用。

参考文献

- [1] J.A.Besada Portas, J.Garcia Herrero and G.de Miguel Vela. New approach to online optimal estimation of multisensor biases [J]. IEE Proc.-Radar Sonar Navig, 2004, 151(1): 31-40.
- [2] 熊伟,邢凤勇,潘旭东等.基于合作目标的动平台传感器偏差估计方法[J].系统工程与电子技术, 2011, 33(3): 544-547.
- [3] 高效,田科钰,钟恢扶.多雷达数据配准的工程实现[J].现代雷达, 2004, 26(3): 33-35.
- [4] 刘德浩,王国宏,陈垒,等.基于SRUKF的3D雷达与2D雷达的误差配准方法[J].火力与指挥控制, 2012, 37(11): 12-16.
- [5] 常超伟,牛竹云,谈鹏.多雷达组网信息融合系统空间配准方法研究[J].计算机与数字工程, 2013, 41(4): 546-548.
- [6] 范胜召,罗江,张玥.概率误差椭圆计算的推导与仿真[J].电子信息对抗技术, 2021, 36(6): 50-53.
- [7] 刘凯,雷俊雄,刘茜等.基于逆投影的多椭圆联合快速高精度定位算法[J].航空学报, 2006, 44(12): 1-15.
- [8] 魏宗康,高荣荣,周姣等.基于椭圆概率误差的落点精度评定方法[J].导弹与航天运载技术, 2020, 37(2): 58-62.
- [9] 张宇辛,卞鸿巍,王荣颖.一种基于误差椭圆的卫导精度评估方法研究[J].计算机与数字工程, 2014, 42(3): 364-368.
- [10] 王振.基于误差椭圆的导线点坐标精度的分析[J].山西建筑, 2016, 42(31): 206-216.