

传感器误差配准问题研究

丁小, 肖兵, 金宏斌

(空军雷达学院 指挥自动化工程系, 湖北 武汉 430019)

摘要: 多传感器数据处理系统中各种误差是影响目标跟踪和数据融合质量的一个重要因素, 而误差配准则是系统中的一个重要环节, 是进行跟踪、关联、融合的前提。介绍传感器误差配准的定义及二维传感器误差配准模型, 综述目前国内外对传感器误差配准的研究现状, 对传感器误差配准研究提出展望。

关键词: 传感器; 系统误差; 配准

中图分类号: TP274.2

文献标识码: A

文章编号: 1673-9833(2008)05-0086-04

Research on Sensor Error Registration: A Survey

Ding Xiao, Xiao Bing, Jin Hongbin

(Department of Command Automation Engineering, Air Force Radar Academe, Wuhan 430019, China)

Abstract: In multi-sensor data processing system, a kind of error is an important factor to the qualities of target tracking and data fusion. Error registration, which is the precondition of tracking, correlation and data fusion, plays a vital role in the system. The definition of error registration and the model of two-dimension sensor error registration are introduced. It also generalizes the study condition of sensor error registration home and abroad and promotes the study prospect of sensor error registration.

Key words: sensor; system error; registration

在多传感器数据处理系统中, 利用信息融合技术, 综合处理来自各传感器的量测和估计数据, 具有降低虚警率、增大数据覆盖面、提高目标探测识别与跟踪能力、增强系统故障容错与鲁棒性等优点。在融合过程中, 来自多个传感器的数据通常要变换到相同的时空参照系中。然而, 在这一过程中, 由于存在各种原因, 使得各个传感器针对同一目标在中心处理系统的航迹产生了偏差, 这种偏差就称之为多传感器数据的配准误差^[1]。通常产生配准误差的原因有以下几种^[2]: 1) 传感器自身误差; 2) 传感器/平台位置误差和方向误差; 3) 一个传感器到另一个传感器的转换误差。

1 二维传感器误差配准模型

如图1所示, 由于传感器a有斜距和方位角偏差

$\Delta r_a, \Delta \theta_a$ ($\Delta r_b, \Delta \theta_b$), 结果在系统平面上报告有2个目标, 而实际上只有1个真实目标。

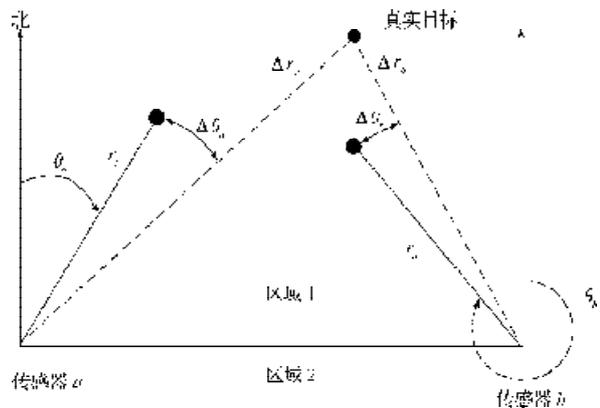


图1 配准模型示意图

Fig. 1 Registration model figure

收稿日期: 2008-09-16

作者简介: 丁小(1983-), 女, 北京人, 空军雷达学院硕士研究生, 主要研究方向为信息融合, 数据处理;

肖兵(1966-), 女, 贵州毕节人, 空军雷达学院副教授, 硕士生导师, 博士后, 主要从事C3I系统设计, 控制理论, 数据融合等方面的研究。

图2 为系统平面上的偏差估计配置图。

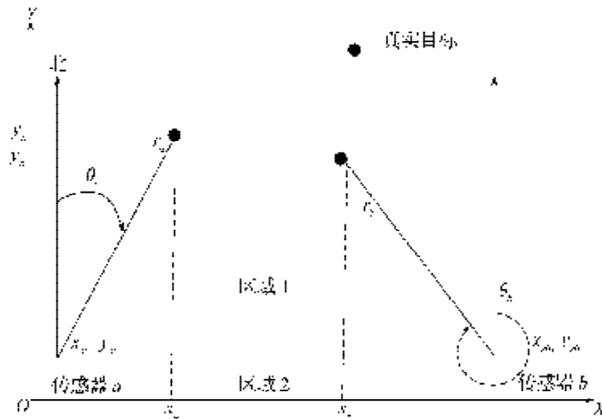


图2 在系统平面上的偏差估计配置

Fig. 2 Error estimation configuration in system plane

图2中： r_a, θ_a 分别表示传感器a的斜距和方位角测量值；

r_b, θ_b 分别表示传感器b的斜距和方位角测量值；
 x_{sa}, y_{sa} 表示传感器a在全局坐标平面上的位置；
 x_{sb}, y_{sb} 表示传感器b在全局坐标平面上的位置；
 x_a, y_a 表示传感器a在全局坐标平面上的测量值；
 x_b, y_b 表示传感器b在全局坐标平面上的测量值。
 从图2的配置就可以推导出如下的基本方程：

$$\begin{cases} x_a = x_{sa} + r_a \sin \theta_a; \\ y_a = y_{sa} + r_a \cos \theta_a; \\ x_b = x_{sb} + r_b \sin \theta_b; \\ y_b = y_{sb} + r_b \cos \theta_b. \end{cases} \quad (1)$$

如果忽略掉噪声项，则有：

$$\begin{cases} r_a = r'_a + \Delta r_a; \\ \theta_a = \theta'_a + \Delta \theta_a; \\ r_b = r'_b + \Delta r_b; \\ \theta_b = \theta'_b + \Delta \theta_b. \end{cases} \quad (2)$$

其中： r'_a, θ'_a 分别表示目标相对于传感器a的真实斜距和方位角；

r'_b, θ'_b 分别表示目标相对于传感器b的真实斜距和方位角；

$\Delta r_a, \Delta \theta'_a$ 表示传感器a的斜距和方位角偏差；

$\Delta r_b, \Delta \theta'_b$ 表示传感器b的斜距和方位角偏差。

将式(2)代入式(1)，并且将所得到的方程相对于 $\Delta r_a, \Delta \theta_a$ 和 $\Delta r_b, \Delta \theta_b$ 进行一级泰勒级数展开便可以得到：

$$\begin{cases} x_a - x_b = \sin \theta'_a \Delta r_a - \sin \theta'_b \Delta r_b + r_a \cos \theta'_a \Delta \theta_a - r_b \cos \theta'_b \Delta \theta_b; \\ y_a - y_b = \cos \theta'_a \Delta r_a - \cos \theta'_b \Delta r_b - r_a \sin \theta'_a \Delta \theta_a + r_b \sin \theta'_b \Delta \theta_b. \end{cases} \quad (3)$$

式(3)对几种与目标运动航迹无关的偏差估计方法提供了基础。

2 国内外研究现状

国内外学者对传感器误差配准问题已作了较多研究，发表的文献也主要是从两雷达（传感器）之间或多雷达（传感器）之间的配准提出各种算法。

总的来说，解决此问题的主要思路分为3种：一是离线方法。典型的做法是采用成批加权最小二乘法求取误差参数，此时需要使用目标的真实航迹（飞行试验），同时假定误差与时间无关。第二种方法是放松了前面2个假设条件，利用卡尔曼滤波器在线估计雷达偏差。第三种方法是试图同时解决目标状态估计和系统偏差的估计。

最早的配准思想是1966年Burke^[3]提出的平均把各个传感器所测得的数据进行平均处理，取平均值作为观测值。在这思想上文献[4]又提出了最小二乘法，文献[5, 6]提出了加权最小二乘法，来运用最小二乘法处理各传感器的测量数据，把结果作为最后的使用数据。因为上述3种方法要求较多的测量数据，且忽略了传感器的测量噪声，因此，只有在测量噪声小的情况下性能才比较好。文献[7-9]以最小二乘理论为基础，利用广义最小二乘、递推最小二乘以及序贯最小二乘算法进行误差配准，在一定的条件下，取得了较好的效果。

Zhou等提出了精确极大似然法，国内学者贺席兵针对文献[10]只解决了二维情况下的配准而提出了改进的极大似然配准法^[11]。但是，极大似然法采用的仍然是地球投影，这就避免不了配准模型的不准确。

文献[12-14]提出了基于地心坐标系的配准方法，先是运用坐标变换把传感器的测量值转换到地心坐标系中，然后把传感器在地球参考坐标系中的偏差归结为传感器本身偏差，进而进行配准。这种方法虽然解决了地球投影带来的误差，但也忽略了传感器的测量噪声。文献[15]提出了一种基于广义最小二乘的ECEP误差配准技术，该算法对不同的误差赋予了不同的权值，使估计值更接近测量精度高的点。

Kousuge和Helmick都提出了利用卡尔曼滤波算法进行传感器方位偏差配准^[16-18]，但它只是在同一平台上位置已知的多传感器误差配准，并且还要求选择一主传感器作为参考。Nabba采用了扩展卡尔曼滤波算法对三坐标雷达进行配准^[19]，但要求各传感器采样周期一致，时间同步。国内学者提出了基于卡尔曼或扩展卡尔曼滤波算法，提出了多平台多传感器的配准^[20,21]，但也是要求时间同步，有主传感器作为参考。文献[22]提出了利用扩展卡尔曼滤波目标状态与系统的联合估计算法，并在此基础上探讨了3种系统偏差条件下状态估计的初始方法。

针对非线性目标跟踪，传统方法是采用扩展卡尔

曼滤波算法,但存在滤波发散的问题。近几年出现了一些针对非线性的目标跟踪算法,如UKF,PF等。许多学者也将UKF,PF引入传感器误差配准算法中,如文献[23]提出了利用非线性的粒子滤波器,对目标状态和系统偏差的估计进行了探讨,仿真结果表明粒子滤波在误差配准中的应用是可行的,性能高于扩展卡尔曼滤波。文献[24,25]提出了基于UKF的多平台多传感器的配准方法,这种方法同时有效地估计目标状态和传感器配准偏差,还可以有效地克服非线性跟踪问题中容易出现的滤波发散问题,并且估计精度高于EKF方法。

另外,Dhar试图同时解决目标状态估计和系统误差的估计^[26],他通过计算目标位置最大似然估计而解决传感器配准问题。还有Karniely,针对传统的配准算法都是基于统计模型的方法,而运用神经网络的方法来估计传感器的各类偏差^[27]。另外,文献[28]采用神经网络来构建目标运动模型,检测出目标的真实轮廓,反馈回神经网络的输入端来修正模型误差。神经网络方法的缺点是训练时间较长,不能满足实时需要。

文献[29]总结和比较了几种配准方法,并建议使用kalman滤波方法进行配准,但是也忽略了测量噪声的影响,从而使得到的结论并不准确。文献[30,31]则总结比较了配准两雷达站之间的距离、空中观测目标的数量和空中观测目标之间的距离对配准算法的影响。文献[32]采用了一种基于扫描航带间重叠区数据分析的方法,对数据质量进行评价,分析误差来源,计算误差大小,并分别对数据的随机和系统误差进行校正。实验证明,此方法可以有效地减少数据误差。

以上都是针对雷达固定情况下的配准,Bar-Shalom在文献[33]中提出了移动雷达的配准方法。

文献[34]也针对两雷达之间和多雷达之间配准的情况提出了单传感器的配准方法,该方法是在已知固定目标方位的前提下,根据固定目标回波的方位测量,把偏差作为状态的一项建立运动方程和观测方程,利用稳态卡尔曼算法进行单传感器方位偏差的配准。

3 结论

综上所述,多传感器数据处理系统中误差配准问题的研究是进行数据融合的前提,也是融合正确的保证,具有重要的意义。但由于误差配准问题比较复杂,难度也比较大,而且现今的各种算法都是在作理论探讨,距离实际工程的应用还有较大的差距(一是算法在提出时没有给出合理的性能分析;二是算法中的假设与真实的工程背景不符)。因此,误差配准问题,尤其是误差配准算法工程化问题仍是今后数据融合领域的一个重要而有意义的研究课题。

参考文献:

- [1] Dana M P. Registration: A Prerequisite for Multiple Sensor Tracking[C]//In Multitarget-Multisensor Tracking: Advanced Applications. Norwood, MA: Artech House, 1990.
- [2] 韩崇昭,朱洪艳,段战胜,等.多源信息融合[M].北京:清华大学出版社,2006.
- [3] Burke J. The SAGE real quality control fraction and its interface with BUICII/BUI III[R]. [s.l.]: MITRE Corporation, 1966.
- [4] Leung H, Blanchette M. A least squares fusion of multiple radar data[C]//proceedings of RADAR 1994. Paris: [s.n.], 1994: 364-369.
- [5] Dana M P. Registration: A prerequisite for multiple sensor tracking[C]//Shalon Y B. Multitarget-multisensor Tracking: Advanced Applications. Norwood MA: Artech House, 1990.
- [6] Sudano J J. A least square algorithm with covariance weighting for computing the translational and rotational errors between two radar sites[J]. IEEE AES, 1993, 29(1): 383-387.
- [7] 张建业,潘泉,张鹏,等.多雷达组网系统空间误差分布与配准算法仿真[J].传感技术学报,2007,20(1): 198-201.
- [8] 张鹏,张建业,张宗麟.车载多雷达组网实时航迹误差评估算法研究[J].电光与控制,2007,14(6): 71-73.
- [9] 赵杰,江晶,周样晶,等.基于序贯最小二乘的多传感器误差配准方法[J].传感器与微系统,2007,26(8): 99-101.
- [10] Zhou Yifeng, Henry L. An exact maximum likelihood registration algorithm for data fusion[J]. IEEE Trans Signal Processing, 1997, 45(6): 1560-1572.
- [11] 贺席兵,毛燕芬.多传感器的极大似然配准算法研究[J].火力与指挥控制,2002(3): 17-19.
- [12] Zhou Yifeng, Henry L, Martin B. Sensor alignment with Earth-centered Earth-Fixed coordinate system[J]. IEEE AES, 1999, 35(2): 410-416.
- [13] Zhou Yifeng, Henry L, Martin B. Sensor alignment using the Earth-centered Earth-Fixed (ECEF) coordinate system [J]. IEEE AES, 1997, 33(2): 469-473.
- [14] Li I T, Georganas J. Multi-target Multi-platform sensor registration in geodetic coordinates[J]. ISIF (Information Fusion), 2002, 1(1): 366-373.
- [15] 董云龙,何友,王国宏,等.基于ECEF的广义最小二乘误差配准技术[J].航空学报,2006,2(3): 463-467.
- [16] Kousuge Y, Okada T. Bias Estimation of Two 3-Dimensional Radars Using Kalman Filter[J]. 4th Int. Workshop on Advanced Motion Control, 1996, 1(1): 377-382.
- [17] Kousuge Y, Okada T. Minimum eigenvalue analysis using observation matrix for bias estimation of two 3-Dimensional radars[C]//SICE '96 (Proceedings of the 35th SICE Annual Conference). Tokyo: [s.n.], 1996: 1083-1088.
- [18] Helmick R E, Rice T R. Removal of alignment errors in an

integrated system of two 3D sensors[J]. IEEE AES, 1993, 29(4): 1333-1343.

[19] Nabaa N, Robert H B. Solution to a multisensor tracking problem with sensor registration errors[J]. IEEE AES, 1999, 35(1): 354-363.

[20] 陈非, 敬忠良, 姚晓东. 空基多平台多传感器时间空间数据配准与目标跟踪[J]. 控制与决策, 2001, 16(S): 798-811.

[21] 李教, 敬忠良, 王安. 多平台多传感器多源信息融合中的时空对准研究[J]. 空军工程大学学报, 2002(5): 56-60.

[22] 宋强, 何友, 董云龙. 一种目标状态与系统偏差的联合估计算法[J]. 弹箭与制导学报, 2007, 27(4): 312-315.

[23] 王波, 董云龙, 王灿林. 粒子滤波在误差配准中的应用[J]. 现代防御技术, 2007, 35(2): 84-88.

[24] 胡洪涛, 敬忠良, 胡士强. 一种基于Unscented卡尔曼滤波的多平台多传感器配准算[J]. 上海交通大学学报, 2005, 39(9): 1518-1521.

[25] 金宏斌, 戴凌燕, 徐毓, 等. 基于无味卡尔曼滤波的多雷达方位配准算法[J]. 数据采集与处理, 2006, 21(1): 29-33.

[26] Dhar S. Application of a Recursive Method for Registration Error Correction in Tracking with Multiple Sensors[C]//In Proceedings of the American Control Conference. San, California: [s.n.], 1993: 869-874.

[27] Karmiely H, Hava H S. Sensor registration using neural network [J]. IEEE AES, 2000, 36(1): 85-100.

[28] 曾鹏鑫, 陈鹏, 朱琳琳, 等. 基于目标运动模型的跟踪方法[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(12): 3491-3494.

[29] Abbas H, Xue D P, Farooq M. Track-Independent estimation schemes for registration in network of sensors[J]. IEEE AES, 1996, 3(3): 2563-2568.

[30] Kousuge Y, Okada T. Statistical analysis for bias estimation of two 3-Dimensional radars[C]//SICE' 98 (Proceedings of the 37th SICE Annual Conference International Session Papers.). OVTA: [s.n.], 1998: 945-950.

[31] Kousuge Y, Okada T. Statistical analysis for radar bias estimation in a data fusion system of 3-Dimensional Radars [J]. IEEE, 2000, 3(3): 2001-2006.

[32] 王成, Menenti M, Stoll M P, 等. 机载激光雷达数据的误差分析及校正[J]. 遥感学报, 2007, 11(3): 390-393.

[33] Bar-Shalom Y. Mobile radar bias estimation using unknown location targets[J]. ISIF (Information fusion), 2000, 1(1): 3-6.

[34] 金宏斌, 徐毓, 万仕保. 基于固定目标的传感器方位偏差配准算法[J]. 计量技术, 2004(3): 25-27.

(责任编辑: 张亦静)



《湖南工业大学学报》征稿启事

湖南工业大学是一所以工科为主, 理工结合, 文理渗透, 以包装科技和包装高等教育为特色, 各学科协调发展的多科性大学。《湖南工业大学学报》旨在携手广大孜孜学人、莘莘学子, 传播科学, 探索真知, 把握时代脉搏, 关注学术前沿。“携手”, 这个充满人文关怀的词语, 蕴含着激情, 折射出力量, 意味着人与人之间的交流与尊重、和谐与友好、拼搏与前进。在这里携手, 知识和理想将汇聚成激荡奔腾的心河; 在这里携手, 学子的才情将折射出绚烂夺目的光芒; 在这里携手, 千里良骏将交遇到伯乐的目光。我们崇尚创新, 无论是专家教授的宏篇之作, 还是初出茅庐的稚啼之声, 这里将为你敞开学术思想驰骋的原地, 将为你搭起学术成长的阶梯; 我们崇尚创新, 提倡独立探索, 自由对话, 只要有利于学术灵感的产生, 学术观点的碰撞, 学术信息的整合, 我们将本着“百花齐放, 百家争鸣”的精神为你开道; 我们崇尚真理, 提倡学术诚信, 反对学术腐败, 力争营造一种健康的学术环境。

希望通过我们大家的共同努力, 《湖南工业大学学报》能成功地搭建起一处当代中国学人交流、共勉之平台, 以收获中国科学发展、进步的硕果。自忖以中华文明之久远, 以炎黄子孙之聪慧, 通过诚挚合作, 必能实现我们共同的宏愿。