

误差分析在数传指挥引导系统中的应用研究

陈岳隆^{1,2}, 刘连忠¹

(1. 北京航空航天大学 计算机科学与技术学院, 北京 100083;

2. 中国人民解放军 93685 部队自动化站, 河北 张家口 075000)

摘要:在基于雷达情报的传统指挥引导自动化系统中, 雷达情报质量直接影响对空指挥引导的效果。加装数据链的指挥引导自动化系统在接收雷达情报数据的基础上, 能同时接收我机的 GPS 数据, 这就为进一步提高雷达情报质量创造了条件。通过对这两类数据之间的误差分析和研究, 并结合指挥引导自动化系统的应用, 提出了一种提高雷达情报精度的方法, 并给出了计算公式和仿真结果。

关键词:指挥引导; GPS; 雷达; 情报; 误差

中图分类号: TP39; O242.2

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2006)07-0180-03

Application Research of Error Analysis in Interception Guidance Automatic System Based on Data-link

CHEN Yue-long^{1,2}, LIU Lian-zhong¹

(1. College of Computer Science and Technology, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China; 2. Command Automation Station, The 93685 Unit of PLA, Zhangjiakou 075000, China)

Abstract: In conventional Interception Guidance Automatic System based on the radar intelligence, the precision of radar intelligence has a direct effect on intercepting and guiding fighter. Interception Guidance Automatic System Based on Data-link (IGASBD) can receive both the GPS data of our fighter and the radar intelligence data at the same time, which makes a foundation for enhancing the precision of radar intelligence. By analyzing the error of the two data in this article, together with the application of IGASBD, we bring up a method of enhancing the precision of radar intelligence and the computation formula and simulation results.

Key words: interception guidance; GPS; radar; intelligence; error

1 问题的提出

精度是雷达的主要战术指标之一, 研究和掌握误差产生的原因及其在各种条件下的变化规律, 可以找出减小误差甚至消除某些误差的方法, 进而获得保证雷达精度或进一步提高雷达精度的可能性^[1]。在指挥引导自动化系统中, 雷达情报质量直接影响对空指挥引导的效果。传统的指挥引导方式是基于雷达情报, 通过语音方式对空中飞机进行指挥引导。在目前的第三代战机中, 已装备 GPS 设备和惯导设备, 这种设备的定位精度要比雷达情报的精度要高。加装数据链的指挥引导自动化系统(简称数传指挥引导系统)在接收雷达情报的基础上, 还可以接收空中我机回传的 GPS 数据或惯导数据, 简称回传数据。文中提出的方法正是对空中我机的回传数据与同一批我机的雷达情报数据进行比对处理近似估计雷达的系统误差, 并基

于该误差对处于同一空域中的敌机雷达情报数据进行补偿, 进而提高数传指挥引导系统的情报质量。

2 雷达系统误差估计

误差根据性质和特征分为随机误差、系统误差和过失误差。估计雷达的系统误差一般有两种方式。第一种方式是对雷达观测数据和理想的目标位置数据作比较, 从而估计出雷达的系统误差。这种情况下, 由于系统能够提供高精度的参考数据, 因此估计效果通常都比较好。第二种方式则利用多部雷达对同一目标的观测数据进行对比, 估计各雷达的系统误差^[2]。由于我机的回传数据相对精确, 可以近似作为理想的目标位置数据, 所以文中采用的雷达系统误差估计方法属于第一种方式。

当数传指挥引导系统接收到我机的回传数据和雷达情报数据后, 由情报处理模块对这两种数据序列点做时空校准, 然后计算经过时空校准后两种数据点之间的误差。利用这种误差补偿同一空域中敌机雷达情报数据以提高敌机雷达情报精度, 把经过数据补偿的敌机雷达情报提供给指挥引导模块使用。数传指挥引导系统原理示意图如

收稿日期: 2005-10-23

作者简介: 陈岳隆(1971-), 男, 河北邢台人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事计算机技术、数据库技术应用研究; 刘连忠, 副教授, 主要从事计算机网络、数据库技术、网络信息安全等方面的研究。

图 1 所示。

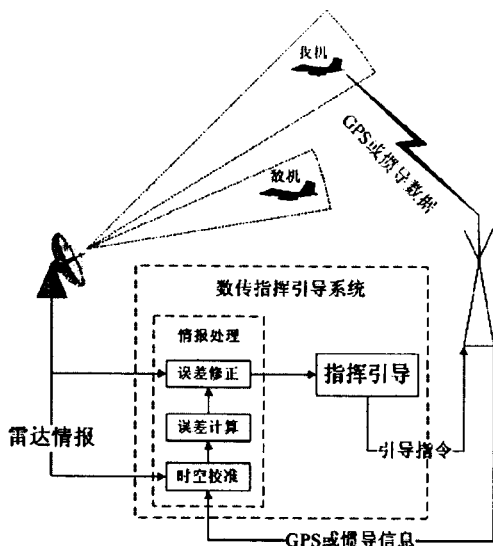


图 1 数传指挥引导系统原理示意图

估计雷达系统误差所采用的方法:

$$\text{定义公式 } X_i = z_{ri} - z_{gi} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

$$\epsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式中, X_i 为某时间点雷达系统误差;

z_{ri} 为某时间点我机雷达情报数据;

z_{gi} 为某时间点我机回传数据;

ϵ 为雷达系统误差估计值;

n 为样本点数。

当数传指挥引导系统接收到我机的回传数据和雷达情报数据序列后,由情报处理模块对这两种数据进行时空校准,并把这两种数据和它们之间的差值存入数据库。在规定的时间内,对得到的误差样本 (X_1, X_2, \dots, X_n)

求均值 $\hat{EX} = \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ 。当采用实时校正方法补偿敌

机雷达情报时,把 \hat{EX} 作为雷达系统误差的估计值 ϵ 。经过一定时间的数据积累后,可以得到样本容量 n 很大的误差样本序列 (X_1, X_2, \dots, X_n) 。在这种情况下,可以使用矩估计法近似得到误差总体 $\{X_n\}$ 的 EX ,由于矩估计法不依赖于总体分布的具体形式,只要 n 充分大,其估计的精确度较高^[3]。当采用固定误差校正方法补偿敌机雷达情报时,把 EX 作为雷达系统误差的估计值。

3 雷达系统误差校正及应用

利用我机回传数据和雷达情报数据之间误差的均值,可以近似得到雷达的系统误差。基于得到的误差数据,就可以对同一空域中敌机的雷达情报数据进行误差补偿,进而提高空中目标的雷达情报精度。

(1)公式定义。

$$\text{雷达情报校正公式: } z_i = z_{ri} - \epsilon \quad (3)$$

式中, z_i 为校正后某时间点雷达情报数据;

z_{ri} 为某时间点雷达情报数据;

ϵ 为雷达系统误差估计值。

(2)应用。

在实际应用中,可以根据情况选用 \hat{EX} 或 EX 做为公式(3)中校正空中目标雷达情报数据的系统误差 ϵ 的值。

a. 实时校正。

在接收到我机的回传数据后,利用规定时间间隔内实时误差样本 (X_1, X_2, \dots, X_n) 的均值 \hat{EX} 动态更新公式(3)中的 ϵ 值,进而校正空中敌机的目标数据,效果可能会更好。因为在短时间间隔内, \hat{EX} 可能会更接近雷达的系统误差真值。

b. 固定误差均值校正。

在指挥引导过程中,由于某些原因(如数据链信道出现故障等情况),数传指挥引导系统得不到我机的回传数据时,可以利用历史误差总体 $\{X_n\}$ 的均值 EX 作为公式(3)中 ϵ 的值校正当前空中目标的雷达情报数据。

对于第二种校正方式,必须考虑长期积累的误差 $\{X_n\}$ 中数据的有效性。比如在发生本地雷达更换或大修等情况后,雷达的系统误差会发生变化^[4,5],原来累积的误差数据已没有实际意义,必须重新采集和积累误差数据。

4 仿真实验与结果分析

文中以雷达情报中的位置信息(经度)为例,假定雷达系统误差均值为 $2s$ (s 表示经度秒),使用模拟数据对该方法进行了 1000 次 Monte-Carlo 仿真。

(1)仿真实验。

根据式(3)可得:

$$\text{误差校正公式 } \epsilon_i = \epsilon_{ri} - \epsilon \quad (4)$$

式中, ϵ_i 为某时间点雷达情报系统误差的校正值;

ϵ_{ri} 表示某时间点的雷达情报数据系统误差;

ϵ 为雷达系统误差估计值。

如图 2 所示,假定空中目标做直线运动,对我机飞行路径模拟 10000 点误差数据近似做为误差总体 $\{X_n\}$ 。在图 2 中按两条飞行路径,分别模拟误差数据 (X_1, X_2, \dots, X_n) 作为我机和敌机的误差样本。

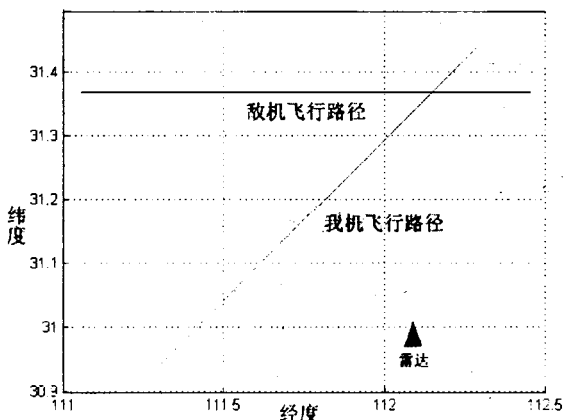


图 2 模拟飞行路径图

a. 实时校正: 对我机误差数据样本 $(X_1, X_2, \dots, X_{200})$, 取 $n = 5$, 按公式(2) 求误差数据均值 \bar{X} , 并实时更新公式(4) 的 ϵ 值, 校正敌机误差样本数据。

b. 固定误差校正: 求出模拟误差数据总体 $\{X_n\}$ 的均值 \bar{X} , 作为公式(4) 的 ϵ 值, 校正敌机误差样本数据。

对上述过程作 1000 次 Monte-Carlo 仿真后, 其中一次仿真结果的未校正 ϵ_i 曲线见图 3, 实时校正的 ϵ_i 曲线见图 5, 固定误差校正的 ϵ_i 曲线见图 4。

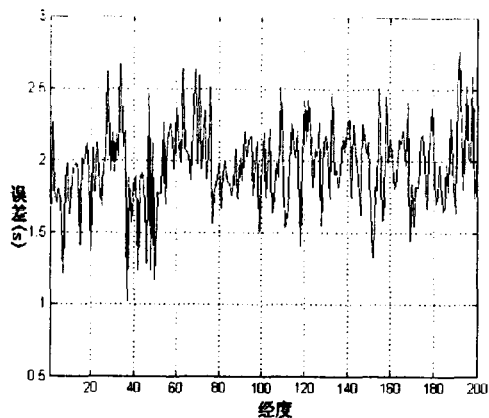


图 3 ϵ_i 未校正曲线

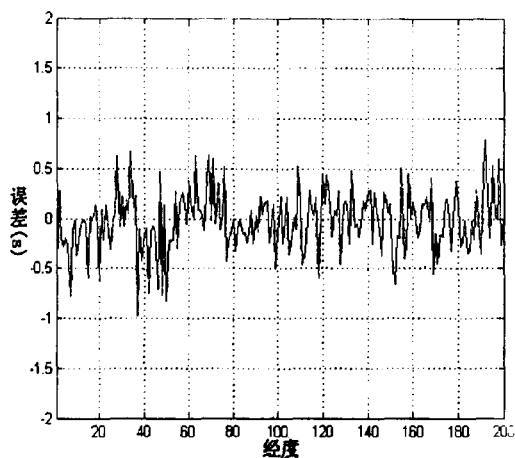


图 4 采用固定误差校正后 ϵ_i 曲线

(2) 仿真结果及分析。

从仿真结果可以看出, 利用我机回传数据与雷达情报数据之间的误差, 校正敌机的雷达情报数据可以进一步提高雷达情报精度。从图 4 和图 5 可以看出实时校正方式

比固定误差校正方式效果还要好一些, 这是因为把雷达情报的随机误差和系统误差完全抽象成雷达系统误差的结果。因此在实时校正中, 采用的 ϵ 会更接近误差的真值; 而在固定误差校正中, 把随机误差造成的影响平均分散到了误差总体中。

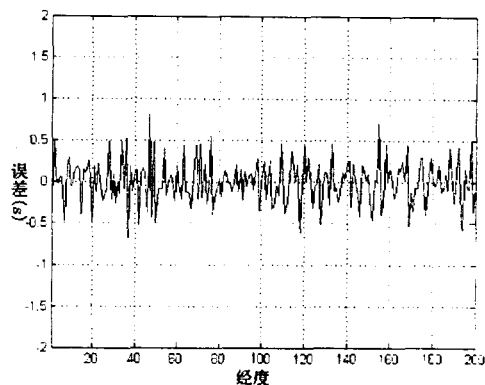


图 5 采用实时校正后 ϵ_i 曲线

5 结束语

探讨了在数传指挥引导系统中, 利用我机的回传数据和雷达情报数据之间的误差, 进一步提高雷达情报精度的可行性方法, 提出了实时校正和固定误差校正两种算法, 并对其进行了数字仿真。仿真结果表明该方法是可行的, 对工程实现具有一定的参考价值和指导意义。在实际应用中, 对处于本空域且无回传数据的空中目标机, 用该方法校正该目标机的雷达情报数据能达到提高空中目标雷达情报精度的目的。

参考文献:

- [1] 胡波, 梁星霞, 练学辉. 雷达系统误差的测量和修正方法[J]. 雷达与对抗, 2005(2): 12-15.
- [2] 杨宏文, 郁文贤, 胡卫东, 等. 基于数据补偿的雷达系统误差估计[J]. 火力与指挥控制, 2000, 25(2): 23-24.
- [3] 韩於羹. 应用数理统计[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002. 32-35.
- [4] 杨万海. 多传感器数据融合及其应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004. 6-8.
- [5] 于永生. 多雷达数据融合的研究与实践[J]. 电子科学技术评论, 2000(2): 27-32.

的性质[J]. 青岛海洋大学学报, 1994, 专辑: 29-33.

- [5] Wen Jin Wei, Zhao Jia Li, Luo Si Wei, et al. The Improvements of BP Neural Network Learning Algorithm[A]. Signal Processing. Proceedings WCCC-ICSP 2000. 5th International Conference[C]. Beijing: [s. n.], 2000. 1647-1649.
- [6] Pan Hao, Jing Ling Yuan, Luo Zhong. Probing modification of BP neural network learning-rate[A]. Machine Learning and Cybernetics. Proceedings International Conference[C]. Beijing: [s. n.], 2002. 307-309.

(上接第 14 页)

参考文献:

- [1] 高隽. 人工神经网络原理及仿真实例[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [2] 金丕彦, 芮勇. BP 算法各种改进算法的研究及应用[J]. 南京航空航天大学学报, 1994, 26(增刊): 201-205.
- [3] 何定, 唐国庆. 一种加快 BP 网络训练速度的新方法[J]. 东南大学学报, 1994, 24(1): 132-134.
- [4] 孙效功, 冯天瑾, 陈佐林. 双层 BP 人工神经网络连接权值