

引用格式:谷晓星,李雷,孙黎静,等.基于蒙特卡罗法的卡尔曼滤波算法在无人直升机探测中的应用[J].电光与控制,2019,26(6):89-91. GU X X, LI L, SUN L J, et al. Application of Monte Carlo method based Kalman filtering algorithm in unmanned helicopter for target detection[J]. Electronics Optics & Control, 2019, 26(6):89-91.

# 基于蒙特卡罗法的卡尔曼滤波算法在无人直升机探测中的应用

谷晓星, 李雷, 孙黎静, 张宇, 邱忠围

(中国直升机设计研究所,江西景德镇 333000)

**摘要:**无人直升机技术的迅猛发展,使得无人直升机越来越频繁地应用于实际作战。使用无人直升机辅助舰艇进行探测,可以大大扩展舰艇的探测范围,为指挥人员提供更全面的战场信息。近年来,卡尔曼滤波算法在通信、导航、制导与控制等多领域均有所应用,各种改良卡尔曼滤波算法也相继被提出。为提高无人直升机的探测精度,提出一种基于蒙特卡罗法的卡尔曼滤波算法,并对其精度进行了分析。

**关键词:**无人直升机;卡尔曼滤波;精度分析;目标探测

**中图分类号:** V279 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-637X.2019.06.018

## Application of Monte Carlo Method Based Kalman Filtering Algorithm in Unmanned Helicopter for Target Detection

GU Xiao-xing, LI Lei, SUN Li-jing, ZHANG Yu, QIU Zhong-wei

(China Helicopter Research and Development Institute, Jingdezhen 333000, China)

**Abstract:** With the rapid development of unmanned helicopter technology, the unmanned helicopters are used more and more frequently in battlefield. When using the unmanned helicopters to aid the warships for target detection, the detection range can be enlarged greatly, which can supply more comprehensive battlefield information to the commanders. In recent years, Kalman filtering are finding applications in the areas of communication, navigation, guidance and control, and various improved Kalman filtering algorithms have been proposed. In order to improve the detection precision of the unmanned helicopter, a Kalman filtering algorithm based on Monte Carlo method is presented here, and an analysis is made to its precision.

**Key words:** unmanned helicopter; Kalman filtering; precision analysis; target detection

### 0 引言

现代海战作战范围广,空间跨度大,水面舰艇的探测范围受地球曲率影响,雷达探测距离仅为40 km,不能对作战海域实施全部覆盖,给作战行动造成困难。为了扩展探测距离,需要空中飞行器的辅助<sup>[1]</sup>。固定翼无人机对起飞平台要求较高,只有航空母舰或两栖攻击舰等少数舰艇可以起降,而无人直升机体积小,对起降平台要求低,驱逐舰及护卫舰均可起降。无人直升机对目标进行探测时,误差往往较大,无法满足引导舰炮对岸攻击等作战任务需求。为了解决无人直升机探测精度低的问题,提出一种基于蒙特卡罗法的卡尔曼滤波算法,该探测方法能够较为精确地对目标进行

定位,引导我方舰艇编队对目标实施精确打击。

### 1 卡尔曼滤波算法

卡尔曼滤波算法是一种利用线性系统状态方程,通过系统输入输出观测数据对系统状态进行最优估计的算法<sup>[2]</sup>,该算法能够从一组有限的包含噪声的目标测量位置序列中预测出物体的位置<sup>[3]</sup>。

已知某个测量系统可以用一个线性微分方程描述<sup>[4]</sup>为

$$\begin{cases} X(k) = X(k-1) + U(k) \\ Z(k) = X(k) + V(k) \end{cases} \quad (1)$$

式中: $X(k)$ 是 $k$ 时刻目标的位置; $X(k-1)$ 是 $k-1$ 时刻目标的位置; $U(k)$ 表示目标移动带来的偏差; $Z(k)$ 是 $k$ 时刻目标的测量位置; $V(k)$ 表示目标测量的误差,是均值为零的高斯白噪声,方差为 $R$ 。利用高斯白噪声的方差 $R$ ,使用卡尔曼滤波算法进行滤波,即可得到目标位置的最优估计<sup>[5]</sup>。因此求测量误差的方差 $R$ 是卡尔

收稿日期:2018-11-07

修回日期:2018-12-01

作者简介:谷晓星(1991—),男,河北石家庄人,硕士,工程师,研究方向为无人机指挥与控制。

曼滤波算法的关键。

## 2 蒙特卡罗法求解测量误差的方差 $R$

利用蒙特卡罗法可快速求得三维坐标系下测量误差的方差  $R$ ,其基本流程如下:

1) 已知目标定位时各误差源的精度,其误差都符合均值为零的正态分布;

2) 通过蒙特卡罗法产生正态分布的各随机误差序列,将正态分布的误差数据叠加到目标定位解算模型输入参数上,得到带有误差的目标位置,与目标的标准位置进行比较,得到多次测量的测量误差;

3) 对多次测量得到的测量误差进行统计分析,即可得到高斯白噪声的方差  $R$ ,蒙特卡罗法测量次数越多,方差  $R$  的数值越精确,实际运用中,要考虑计算机的运算速度,选取合适的测量次数,以便快速得到方差  $R$  的值。

## 3 定位精度仿真分析

为了证明该定位方法的有效性,现进行仿真分析。已知使用雷达对目标进行定位时各误差源,如表 1 所示<sup>[6]</sup>。

表 1 雷达定位误差源

Table 1 Error sources of radar locating

参数名称	精度( $1\sigma$ )	参数名称	精度( $1\sigma$ )
目标距离 $D$	$D/1000$	本机航向角误差/ $^\circ$	0.15
目标方位角/ $^\circ$	0.22	本机俯仰角误差/ $^\circ$	0.15
目标俯仰角/ $^\circ$	0.45	本机横滚角误差/ $^\circ$	0.15

使用无人直升机直接对目标进行定位时,以无人直升机所在位置为坐标原点,目标斜距为 40 km。通过蒙特卡罗法产生正态分布的各随机误差的序列,将正态分布的误差数据叠加到目标定位解算模型输入参数上,进行仿真计算,并与标准解比较,得到目标定位误差。设无人直升机的测量频率为每秒 5 次,对目标连续测量 200 s,即 1000 次,可得 1000 次的目标定位误差,通过对 1000 次的目标定位误差序列进行统计分析,可得目标定位的平均测量误差为 388.17 m。

使用基于蒙特卡罗法的卡尔曼滤波算法对目标进行定位时,以无人直升机所在位置为坐标原点,目标斜距为 40 km。首先通过蒙特卡罗法计算目标当前位置的测量误差的方差,在此使用蒙特卡罗法连续计算 1000 次,可得 1000 次的目标定位误差,通过对 1000 次的目标定位误差序列进行统计分析,可得目标测量误差的方差  $R$  为 367.58 m。设无人直升机的测量频率为每秒 5 次,对目标连续测量 200 s,即 1000 次。将目标测量误差的方差  $R$  代入卡尔曼滤波算法对测量数据进行处理,可得目标的定位精度为 13.76 m。

使用卡尔曼滤波与不使用卡尔曼滤波两种测量方

法连续测量 1000 次的测量精度如图 1 所示。

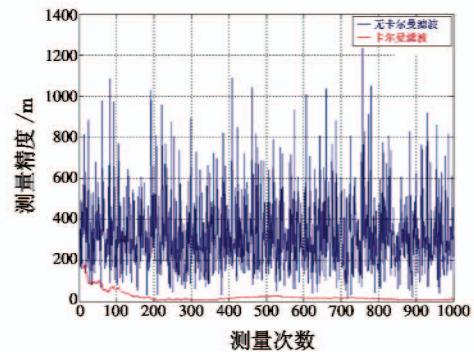


图 1 两种方法精度对比(斜距 40 km)

Fig. 1 Precision comparison of two methods with slant distance of 40 km

图 1 中,蓝色线为直接测量时目标的定位精度,红色线为使用基于蒙特卡罗法的卡尔曼滤波算法后的目标定位精度。由图 1 可知,使用基于蒙特卡罗法的卡尔曼滤波算法后,目标的定位精度提高了一个数量级,而且是快速收敛的,在连续测量 100 次后,目标的定位精度已经收敛到了 30 m 左右,且随着测量次数增加,目标的定位精度越来越高。

现将目标斜距提高到 200 km,其他参数不变,仍然连续测量 1000 次。经仿真计算,不使用卡尔曼滤波算法得到的目标测量误差为 1331.38 m,使用卡尔曼滤波算法得到的目标测量误差为 94.56 m。使用卡尔曼滤波算法与不使用卡尔曼滤波算法两种测量方法连续测量 1000 次的测量精度如图 2 所示。

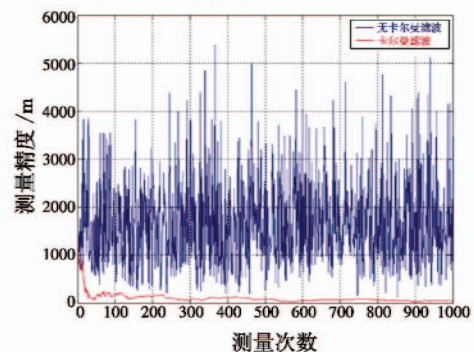


图 2 两种方法精度对比(斜距 200 km)

Fig. 2 Precision comparison of two methods with slant distance of 200 km

由图 2 可知,使用基于蒙特卡罗法的卡尔曼滤波算法后,目标的定位精度提高了一个数量级,而且是快速收敛的,在连续测量 100 次后,目标的定位精度已经收敛到了 200 m 左右,且随着测量次数的增加,目标的定位精度更高。

在 0~200 km 范围内,以 20 km 为间隔改变目标的斜距,经过多次仿真,得到两种方法不同斜距下的测量精度,如表 2 所示。



表2 不同斜距下测量精度

Table 2 Measurement precision at different slant distances

目标斜距/km	无卡尔曼滤波/m	卡尔曼滤波/m	目标斜距/km	无卡尔曼滤波/m	卡尔曼滤波/m
20	134.08	9.92	120	813.64	57.73
40	388.17	13.76	140	1 011.91	67.76
60	397.85	17.92	160	1 098.63	74.04
80	552.98	31.67	180	1 223.75	82.54
100	701.54	42.04	200	1 331.38	94.56

由表2可知,目标距离超过100 km后,不用卡尔曼滤波算法对数据进行处理,目标的探测误差超过了700 m,已无法满足作战要求。而采用基于蒙特卡罗法的卡尔曼滤波算法对数据进行处理后,即使目标距离达到200 km,其探测精度也在100 m以内,探测精度得到了极大提升。

### 4 结论

本文采用卡尔曼滤波算法与蒙特卡罗法相结合的方法,首先通过蒙特卡罗法计算测量误差的方差,以此作为卡尔曼滤波算法的输入。与不使用卡尔曼滤波算法得到的测量结果相比,不仅定位精度提高了一个数

量级,而且随着测量次数的增多,测量结果可以快速地向目标真实位置收敛。此方法操作简单,易于工程实现,不仅可以应用于雷达探测,同样适用于激光定位等其他探测方式,具有广阔的应用前景。

### 参考文献

- [1] 孙晓闻. 无人/有人协同探测作战应用研究[J]. 中国电子科学研究院学报, 2014, 9(4): 331-334.
- [2] 郝晓静, 李国新, 李明珠, 等. 无迹卡尔曼滤波算法在目标跟踪中的研究[J]. 电子设计工程, 2012, 20(13): 161-164.
- [3] 游胜玉, 姜林, 李祥. 基于渐消记忆自适应 Kalman 滤波的 GPS/DR 数据融合[J]. 计算机工程与设计, 2010, 31(21): 4720-4723.
- [4] 彭勇, 陈俞强. 基于改进卡尔曼滤波的北斗 GPS 联合定位算法[J]. 计算技术与自动化, 2018, 37(2): 59-62.
- [5] GAO W X, MIAO L J, NI M L. Multiple fading factors Kalman filter for SINS static alignment application[J]. Chinese Journal of Aeronautics. 2011, 24(4): 476-483.
- [6] 逯志宇, 王建辉, 巴斌, 等. 修正容积卡尔曼滤波数据域直接定位算法[J]. 航空学报, 2018, 39(9): 167-174.

(上接第88页)

将系统焦距由1350 mm增大为1500 mm(焦距的增大牺牲了系统的物方视场,具体设计时需仔细斟酌,此时,系统F数为7.5,与探测器F数不匹配,可考虑引入外置热光阑解决<sup>[7]</sup>),系统分辨能力计算结果如图9所示,由图可知系统分辨能力已满足要求。

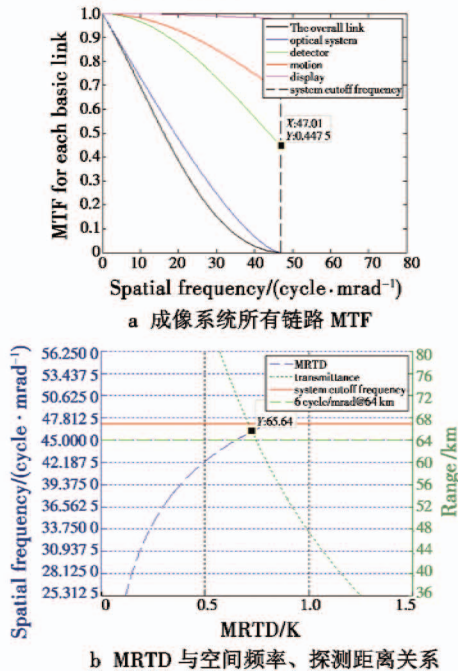


图9 增大焦距后系统分辨能力计算

Fig.9 System resolution calculation after enlarging the focal length

### 4 总结

本文对影响光电侦察设备分辨能力的各个环节进行充分细致的分析,给出了系统部分具体设计参数的确定方法,并给出一个具体实例,对系统分辨能力进行了预测分析。虽然本文是针对凝视型光电侦察设备进行讨论的,但对建模方法的讨论是普遍适用的,稍加修改就可以应用于大多数的光电成像系统,可为工程人员建模预测性能提供一定帮助。

### 参考文献

- [1] 王合龙. 机载光电系统及其控制技术[M]. 北京: 航空工业出版社, 2016.
- [2] OLSON C, THEISEN M, PACE T. et al. Model development and system performance optimization for staring Infrared Search and Track (IRST) sensors [C]//SPIE, 2016. doi:10.1117/12.2225862.
- [3] SMITH F G. Atmospheric propagation of radiation [M]. Bellingham: SPIE Optical Engineering Press, 1993.
- [4] WAN W. Passive IR sensor performance analysis using Mathcad modeling [C]//SPIE, 2009. doi: 10.1117/12.815238.
- [5] 周世椿. 高级红外光电工程导论[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [6] CAMPANA S. Passive electro-optical systems [M]. Bellingham: SPIE Optical Engineering Press, 1993.
- [7] 陈建发, 赵泉, 蔡猛, 等. 基于热光阑的大F数制冷型红外光学系统[J]. 光电与控制, 2017, 24(3): 81-84.