

文章编号: 2095-4980(2016)04-0545-04

## 一种无线电/激光复合引信的脱靶量估算方法

付斯琴, 郭 宁

(北京电子工程总体研究所, 北京 100854)

**摘 要:** 脱靶量是衡量制导控制性能的重要指标。基于无线电/激光复合引信, 通过建立脱靶量与复合引信启动距离和脱靶方位的关系, 提出了一种靶试后快速估算脱靶量的方法。经滑轨试验和靶试验验证, 本文提出的脱靶量估算方法得到的脱靶量准确度较高。该方法通用性较强, 可用于类似体制靶试后脱靶量的快速估算。

**关键词:** 脱靶量; 复合引信; 估算方法; 无线电引信; 激光引信

**中图分类号:** TN806; TJ43

**文献标识码:** A

**doi:** 10.11805/TKYDA201604.0545

## A miss distance estimation method for radio-laser combination fuze

FU Siqin, GUO Ning

(Beijing Institute of Electronic System Engineering, Beijing 100854, China)

**Abstract:** Miss distance is an important index in measuring the performance of guidance and control system. Based on the radio-laser combination fuze, a post-test miss distance estimation method is proposed by developing the relationships among the miss distance, activation distance, and miss distance direction. Both slide rail testing and flight testing demonstrate the high accuracy of the proposed miss distance estimation method. Furthermore, the universality of the proposed estimation method makes it possible to be used for a post-test estimation of miss distance with similar mechanism.

**Key words:** miss distance; combination fuze; estimation method; radio fuze; laser fuze

脱靶量是防空导弹武器系统研制过程中进行飞行试验数据分析的一个重要参数<sup>[1]</sup>。目前在靶试中主要采取的脱靶量测量方法有光学测量、无线电测量设备测量、GPS 测量等方法<sup>[2-6]</sup>。其中光学测量方法凭借测量精确度高、可重复利用的优点被广泛采用。在海上进行飞行试验时, 由于光测系统受到海面环境、站点架设位置和气候条件的影响, 通过光测很难给出准确的脱靶量。无线电测量设备测量、GPS 测量等方法都需要借助专用测量设备, 且设备难以回收, 所以成本较高。

引信作为弹上的一个近距离探测系统, 能够在弹目交会段近距离探测目标。利用引信测量的目标信息, 可以对脱靶量进行快速估算<sup>[7]</sup>。对于小尺寸目标, 文献[6]利用频率定角引信的测量信息提出了一种基于引信多普勒频率信号的脱靶量估算方法, 该方法不必增加其他设备, 简单方便, 具有较高的置信度。但对于大尺寸目标, 由于频率定角引信定角精确度较差, 所以基于频率定角引信测量信息估算出的脱靶量精确度下降。

本文基于波束定角的无线电/激光复合引信的测量信息, 提出了一种脱靶量快速估算方法。由于波束定角的无线电/激光复合引信探测波束较窄, 测距精确度高, 启动角范围小, 因此建立的估算模型误差小, 利用该方法估算出的脱靶量精确度较高。

### 1 脱靶量估算模型

引信启动时刻, 导弹与目标的几何关系如图 1 所示。

假设目标触发点在以目标中心  $O_1$  为原点的相对速度坐标系内的坐标为  $(x_r, y_r, z_r)$ , 在以引信天线中心  $O_2$  为原点的弹体坐标系内的坐标为  $(x_m, y_m, z_m)$ , 根据坐标系之间的转换关系, 有

$$\begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \end{bmatrix} = [E] \begin{bmatrix} x_r - \Delta x_r \\ y_r - \rho \cos \theta \\ z_r - \rho \sin \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E(1,1) & E(1,2) & E(1,3) \\ E(2,1) & E(2,2) & E(2,3) \\ E(3,1) & E(3,2) & E(3,3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_r - \Delta x_r \\ y_r - \rho \cos \theta \\ z_r - \rho \sin \theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中： $[E]$ 为相对速度坐标系到弹体坐标系的转换矩阵； $\Delta x_r$ 为启动时刻引信天线中心在相对速度坐标系内  $X_r$  轴上的坐标； $\rho$ 为脱靶量； $\theta$ 为脱靶方位<sup>[8]</sup>。

图 1 中  $\Omega_q$  为引信启动角，是指在弹体坐标系内引信启动时目标触发点到引信探测器中心的连线与弹体纵轴  $X_m$  的夹角<sup>[2]</sup>。对于波束定角引信， $\Omega_q$  一般取引信启动区中心值。根据图 1 所示导弹与目标的几何关系，可知

$$x_m = R \cos \Omega_q \quad (2)$$

$[E]$ 为相对速度坐标系到弹体坐标系的转换矩阵，可以表示为：

$$[E] = \begin{bmatrix} E(1,1) & E(1,2) & E(1,3) \\ E(2,1) & E(2,2) & E(2,3) \\ E(3,1) & E(3,2) & E(3,3) \end{bmatrix} \quad (3)$$

令  $x_r = x_r - \Delta x_r$ ， $L = (y_r - \rho \cos \theta)E(1,2) + (z_r - \rho \sin \theta)E(1,3)$ ， $q^2 = (y_r - \rho \cos \theta)^2 + (z_r - \rho \sin \theta)^2$ ，则有

$$x_m = x_r E(1,1) + L \quad (4)$$

$$R = \sqrt{q^2 + x_r^2} \quad (5)$$

将式(4)代入式(5)，可以得到

$$R = \sqrt{q^2 + \left\{ \frac{-E(1,1)L - \cos \Omega_q \sqrt{L^2 + q^2 [E(1,1)^2 - \cos^2 \Omega_q]}{E(1,1)^2 - \cos^2 \Omega_q} \right\}^2} \quad (6)$$

通过式(5)可以看出，引信启动距离  $R$  是脱靶量  $\rho$  和脱靶方位  $\theta$  的函数。分析可知利用启动距离  $R$  和脱靶方位  $\theta$  直接求解脱靶量  $\rho$  比较复杂，所以利用上式建立的脱靶量  $\rho$ 、启动距离  $R$  和脱靶方位  $\theta$  三者之间的关系对脱靶量进行快速估计。

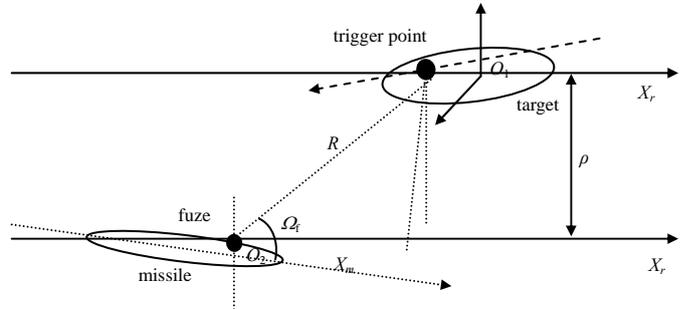


Fig.1 Geometric relation of missile-target encounter  
图 1 弹目交会时几何关系示意图

## 2 脱靶量估算模型参数计算

基于无线电/激光复合引信，启动距离  $R$  和脱靶方位  $\theta$  的计算方法如下。

### 2.1 启动距离 $R$

无线电引信和激光引信都具有测距功能，由于二者测距步长不相等，可以对 2 个引信各自测量的启动距离范围求交集，得到精确度更高的启动距离  $R$ 。

引信距离门如图 2 所示。假设在同样作用距离下，无线电引信有 6 个距离门，激光引信有 8 个距离门。当 2 个引信复合时，通过叠加可以得到 12 个距离门。其中复合引信阴影部分的距离门相比任意单一引信距离门划分更细，因此启动距离  $R$  的测距精确度更高。

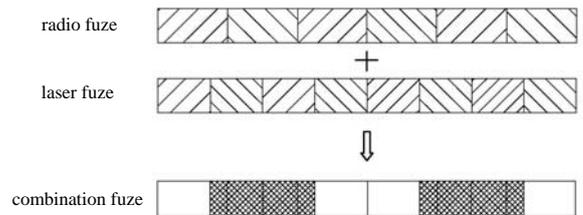


Fig.2 Range gate of fuze  
图 2 引信距离门示意图

### 2.2 脱靶方位 $\theta$

无线电引信的每个天线和激光引信的每个窗口在垂直于弹轴的平面内对应一定的探测方位范围。弹目交会时，通过对引信启动时刻探测到目标的天线和窗口分别对应的探测方位范围求交集，可以得到目标在弹体坐标系的方位  $\varphi$  范围，然后对  $\varphi$  进行坐标变化即可得到脱靶方位  $\theta$ 。

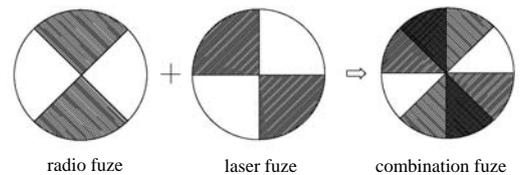


Fig.3 Azimuth detecting of fuze  
图 3 引信方位探测示意图

假设无线电引信有 4 个天线，激光引信有 4 个窗口。当无线电引信的天线探测范围与激光引信的窗口探测范围有交集时，如图 3 所示，通过叠加可以将引信探测到的目标方位进一步细化。

### 3 脱靶量估算

基于无线电/激光复合引信的脱靶量估算方法计算流程如图 4 所示，其中  $\Delta$  为常数， $\epsilon$  为小量。给定一个脱靶量初值。将引信启动时刻导弹和目标的的速度矢量、姿态矢量以及复合引信测量数据代入启动距离计算模型，可以得到该脱靶量对应的引信启动距离计算值  $R$ ，将该计算值  $R$  与启动距离遥测值  $R_0$  进行比较。当启动距离的计算值  $R$  与遥测值  $R_0$  之差的绝对值大于  $\epsilon$  时，通过反复迭代修改脱靶量的估计值，使启动距离的计算值  $R$  与遥测值  $R_0$  之差的绝对值小于  $\epsilon$ ，则输出此时的脱靶量作为脱靶量的估计值。

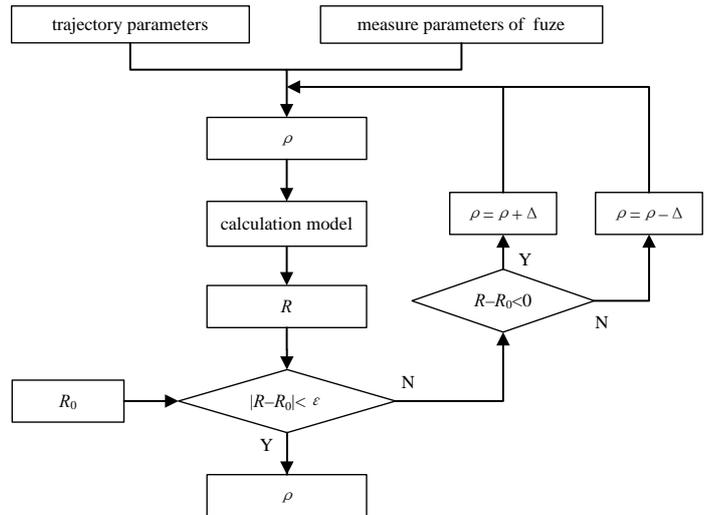


Fig.4 Miss distance estimation method  
图 4 脱靶量估算流程图

### 4 算法验证与改进

#### 4.1 应用效果

利用复合引信滑轨试验对本方法的估算精确度进行检验，试验证明脱靶量识别误差达到  $\pm 1$  m 左右，估算脱靶量与实际脱靶量的比较见表 1。在某型号靶试后，利用该方法估算出的脱靶量被军方认可并作为飞行试验结果的判定依据之一。

表 1 算法的试验验证  
Table1 Test of arithmetic

set miss distance/m	initiation distance R/m	azimuth of fuze in the body frame at initiation time $\varphi /(^{\circ})$	estimated miss distance/m	estimation error/m
3	3.75	45	2.5	-0.5
5	6.75	180	5.4	0.4
8	11.25	300	8.7	0.7

#### 4.2 算法改进

由于利用了复合体制的引信，激光引信和无线电引信复合时，启动距离和目标在弹体坐标系的方位可以通过对 2 个引信测量信息求交集获得，从而缩小测量值的范围，相比单一体制引信，测量精确度更高。

基于波束定角无线电/激光复合引信的脱靶量估算方法的精确度主要取决于引信启动距离  $R$  和脱靶方位  $\theta$  的精确度，因此还可以从以下几个方面进一步提高启动距离  $R$  和脱靶方位  $\theta$  的精确度：

- 1) 提高引信距离门精确度。在引信作用距离不变的前提下，增加引信距离门数量，缩小距离区间，可以提高引信启动距离测量精确度；
- 2) 增加引信天线和窗口数量。增加无线电引信天线数量和激光窗口数量，缩小每个天线和窗口的探测方位范围，可以提高目标在弹体坐标系的方位  $\varphi$  的测量精确度，进而提高计算出的脱靶方位  $\theta$  精确度。

### 5 结论

本文提出了一种基于无线电/激光复合引信的脱靶量估算方法，解决以往在海上进行飞行试验时通过光测难以估算脱靶量以及打击大尺寸目标时估算精确度不高的问题。通过滑轨试验和靶试验证，该方法估算出的脱靶量准确度较高，同时该方法具备较强的通用性，可用于类似体制靶试后脱靶量的快速估算。

#### 参考文献：

[ 1 ] FLEEMAN E L. Tactical Missile Design[M]. 2nd ed. Reston,VA:American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2006.  
 [ 2 ] 魏国华,吴嗣亮,王菊,等. 脱靶量测量技术综述[J]. 系统工程与电子技术, 2004,26(6):768-772. (WEI Guohua,WU Siliang,WANG Ju,et al. Overview of miss distance measurement technology[J]. Systems Engineering and Electronics, 2004, 26(6):768-772.)  
 [ 3 ] LI Kang,YANG Shaoqing,LIU Songtao. Methods of obtaining miss distance based on image measurement technology[M]// Information Engineering and Applications. London:Spinger-Verlag London limited, 2012:103-110.

- [4] WANG Xiaoli,ZHOU Xun. Design of the miss distance measurement system based on the fusion of GPS,INS[C]// Proceedings of the 2012 Third International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering. Washington, DC,USA:IEEE Computer Society, 2012:27-29.
- [5] FANG Bingyi,WU Siliang,WEI Guohua. Vector miss distance measurement based on range-only target tracking[C]// CIE International Conference on Radar. Shanghai,China:IEEE, 2006:16-19.
- [6] 郭宁. 基于引信多普勒频率信号的脱靶量估算方法[J]. 现代防御技术, 2007,35(2):31-34. (GUO Ning. Estimating method of miss distance based on fuse's Doppler frequency signal[J]. Journal of Modern Defense Technology, 2007,35(2):31-34.)
- [7] 苑林桢,张斌,郭宁,等. 防空导弹引信战斗部系统总体设计[M]. 北京:现代防御技术编辑部, 2006. (YUAN Linzhen, ZHANG Bin, GUO Ning. The Fuze-warhead System Design for the Air-defense Missile[M]. Beijing:Editorial Department of Modern Defense Technology, 2006.)
- [8] 张志鸿,周申生. 防空导弹引信与战斗部配合效率和战斗部设计[M]. 北京:宇航出版社, 1994. (ZHANG Zhihong, ZHOU Shensheng. Efficiency of Fuze-warhead Matching and Warhead Design for the Air-defense Missile[M]. Beijing:Aerospace Press, 1994.)

#### 作者简介:



付斯琴(1987-), 女, 云南省大理市人, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向为引战配合技术.email:fusiqinbit@163.com.

郭宁(1971-), 女, 四川省仁寿县县人, 硕士, 研究员, 研究方向为引战配合技术.

(上接第 524 页)

- [10] 马俊,窦冬冬,王大鸣. 基于 MSINR 的上行多用户 MIMO 多址干扰抑制算法[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2013, 11(4):572-577. (MA Jun,DOU Dongdong,WANG Daming. An uplink multiple access interference suppression algorithm in multiuser MIMO based on MSINR[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2013,11(4): 572-577.)
- [11] KISIALIOU M,LUO X,LUO Z Q. Efficient implementation of quasi-maximum-likelihood detection based on semidefinite relaxation[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2009,57(12):4811-4822.
- [12] KANUNGO T,MOUNT D M,NETANYAHU N S,et al. An efficient k-means clustering algorithm: Analysis and implementation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002,24(7):881-892.
- [13] VISALAKSHI N K,SUGUNA J. K-means clustering using max-min distance measure[C]// Fuzzy Information Processing Society, 2009. NAFIPS 2009 Annual Meeting of the North American. Cincinnati,OH,USA:[s.n.], 2009:1-6.
- [14] Spatial channel model for Multiple Input Multiple Output(MIMO) simulations[EB/OL]. (2012-09-12)[2015-05-11]. <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/25996.htm>.

#### 作者简介:



王盛(1984-), 男, 四川省绵阳市人, 在读博士研究生, 助理工程师, 主要研究方向为移动通信系统.email:wsptrieu@126.com.

陈松(1986-), 男, 福建省永安市人, 在读博士研究生, 主要研究方向为无线与移动通信技术.

任修坤(1979-), 男, 河南省延津县人, 硕士, 讲师, 主要研究方向为无线通信.

陈国军(1984-), 男, 河北省唐山市人, 博士, 助教, 主要研究方向为无线与移动通信技术.