



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104634186 B

(45)授权公告日 2016.07.27

(21)申请号 201510112949.5

(22)申请日 2015.03.13

(73)专利权人 诸德放

地址 221000 江苏省徐州市空军勤务学院
航空弹药系

(72)发明人 诸德放 于伟 王志红 彭京明
孔凡成 肖靖

(74)专利代理机构 石家庄元汇专利代理事务所
(特殊普通合伙) 13115

代理人 刘闻铎

(51)Int.Cl.

F41J 5/02(2006.01)

审查员 黄绍泽

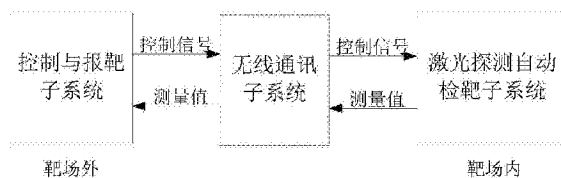
权利要求书2页 说明书9页 附图2页

(54)发明名称

对地攻击训练弹丸弹着点激光探测报靶系统

(57)摘要

本发明对地攻击训练弹丸弹着点激光探测报靶系统,针对现有射击地靶训练中报靶手段工作量大,精度低、实时性差、通用性差等问题设计。本发明由三个子系统构成,控制与报靶子系统、激光探测自动检靶子系统以及无线通讯子系统,激光探测自动检靶子系统至少由3台以上激光探测器组成,通过在地靶上方适当位置设置激光靶面,探测弹丸穿过激光靶面的位置,解析弹丸在地靶上的弹着点位置,并直观显示弹着点分布和实时提供训练成绩。本发明应用于弹丸的攻击地靶训练中,具有探测范围大,环境适应性强,同时具备报靶精度高、报靶时效性好、能实现高效训练、避免人工检靶工作量大和可能存在的安全隐患等诸多特点。



1. 一种对地攻击训练弹丸弹着点激光探测报靶系统,其特征在于:包括激光探测自动检靶子系统、控制与报靶子系统以及无线通讯子系统;

其中,所述激光探测自动检靶子系统,包括至少3台激光探测器,所述激光探测器由激光发射装置和激光接收装置构成,所述激光发射装置向空中发射一束或一组“扇面”型探测激光束,至少两台激光探测器发出的探测激光束共面,所述的探测激光束的共面部分叠加为一个激光靶面;

所述控制与报靶子系统,包括工作状态控制模块、参数设置模块和数据处理模块,其中所述工作状态控制模块,用于控制和转换激光探测自动检靶子系统的工作状态;

所述参数设置模块,用于报靶参数设置,所述的报靶参数至少包括弹药型号、发射数量、攻击方式、攻击方向和测量频率;

所述数据处理模块,用于对激光探测自动检靶子系统测量数据进行实时处理、计算,形成训练成绩数据,显示在激光靶面上和地靶上的弹着点分布,输出报靶数据的偏差数据,所述报靶数据至少包括攻击训练在攻击方向、俯冲角度或攻击时机的数据;

所述无线通讯子系统,用于对激光探测自动检靶子系统和控制与报靶子系统之间的通讯和数据传输;

在弹丸穿过激光靶面的过程中,基于高频脉冲激光探测技术对弹丸进行探测,其中激光发射装置发射的脉冲激光在弹丸上反射后被激光接收装置所接收,实现对弹丸的探测;所述激光探测器发射的脉冲激光重复频率大小的选择需根据弹丸尺寸、穿靶速度或数据处理要求因素而决定,保证在弹丸高速穿过激光靶面的过程中至少有一次实现对弹丸的有效探测。

2. 根据权利要求1所述的的对地攻击训练弹丸弹着点激光探测报靶系统,其特征在于:所述的激光探测器为高频脉冲激光探测器。

3. 根据权利要求1所述的的对地攻击训练弹丸弹着点激光探测报靶系统,其特征在于:在弹丸穿过激光靶面的过程中,基于高精度激光测距技术和雷达定位技术对单射和连射的弹丸进行定位;

通过激光探测器发射激光束,测量激光遇弹丸的返回时间获取弹丸与探测器距离,再根据两台以上激光探测器的相对位置信息及其在同一时刻与弹丸的距离值计算弹丸在激光靶面上的空间位置。

4. 根据权利要求3所述的的对地攻击训练弹丸弹着点激光探测报靶系统,其特征在于:弹丸在激光靶面上的弹着点或穿过点为P,两台探测器实测的离弹着点或穿过点的距离分别是 R_1 和 R_2 ,两台探测器的位置由 $(R\cos\theta_1, R\sin\theta_1)$ 、 $(R\cos\theta_2, R\sin\theta_2)$ 决定,其中R为探测器离靶心距离, θ_1 、 θ_2 为两台探测器相对靶心的方位角,则P点的位置 $P(r\cos\theta, r\sin\theta)$ 由下式确定:

$$\begin{cases} R_1^2 = R^2 + r^2 - 2Rr \cos(\theta - \theta_1) \\ R_2^2 = R^2 + r^2 - 2Rr \cos(\theta - \theta_2) \end{cases}$$

其中,r为弹着点离靶心距离, θ 为弹着点相对靶心的方位角。

5. 根据权利要求4所述的的对地攻击训练弹丸弹着点激光探测报靶系统,其特征在于:弹着点 $P(r\cos\theta, r\sin\theta)$ 的定位误差 Δr 、 $\Delta\theta$ 至少包括由两台探测器测距误差引起的弹着点定

位误差和探测器在靶场的安装误差；

安装误差为固定误差,通过调试消除；

由两台探测器测距误差引起的弹着点定位误差,由下式确定：

$$\begin{cases} \Delta r_{12} = \frac{R_1 \Delta R_1 \sin(\theta - \theta_2) - R_2 \Delta R_2 \sin(\theta - \theta_1)}{2 \sin \frac{\theta_2 - \theta_1}{2} [R \cos \frac{\theta_2 - \theta_1}{2} - r \cos(\theta - \frac{\theta_1 + \theta_2}{2})]} \\ \Delta \theta_{12} = \frac{R_1 \Delta R_1 [r - R \cos(\theta - \theta_2)] - R_2 \Delta R_2 [r - R \cos(\theta - \theta_1)]}{2 R r \sin \frac{\theta_2 - \theta_1}{2} [r \cos(\theta - \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}) - R \cos \frac{\theta_2 - \theta_1}{2}]} \end{cases}$$

其中, ΔR_1 、 ΔR_2 为两台探测器的测距误差, Δr_{12} 、 $\Delta \theta_{12}$ 是由上述两台探测器测距误差引起的定位误差。

6. 根据权利要求1所述的地对地攻击训练弹丸弹着点激光探测报靶系统,其特征在于:采用两台以上的激光探测器形成的同一激光靶面,对弹丸在激光靶面上的同一弹着点同时进行探测,取两台以上激光探测器两两确定的弹丸位置精度最高的数据。

7. 根据权利要求1所述的地对地攻击训练弹丸弹着点激光探测报靶系统,其特征在于:每台激光探测器采用多发射单接收、单发射多接收或者多发射多接收三种方式；

其中所述的多发射单接收是指多个轮流发射的激光束拼接成一个激光束,只有一个大视场角接收器接收；

所述的单发射多接收是指只发射一个激光束,由多个小视场角的接收器拼接成大视场角接收或由一个线性阵列接收器完成接收；

所述的多发射多接收是指多个轮流发射的激光束,由多个小视场角的接收器拼接成大视场角接收或由一个线性阵列接收器完成接收。

8. 根据权利要求1所述的地对地攻击训练弹丸弹着点激光探测报靶系统,其特征在于:两台以上激光探测器在激光收发期间采用轮流循环收发的方式。

9. 根据权利要求1所述的地对地攻击训练弹丸弹着点激光探测报靶系统,其特征在于:采用两组激光探测器在地面上进行配置,探测弹道上的两个不同的点,确定弹道方向和弹速,并为由激光靶面上的弹着点解算出弹丸在地靶上的弹着点提供必需的参数。

对地攻击训练弹丸弹着点激光探测报靶系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种属于激光探测在军事训练效能评估应用领域,具体涉及一种对地攻击训练弹丸弹着点激光探测报靶系统。

背景技术

[0002] 对地靶实弹射击训练是提高武器操作员实战水平的重要途径。而准确及时的报出武器操作员射击地靶的成绩,并提出修正措施,则可大大提高训练效能。目前评判武器操作员射击地靶成绩的方法是:

[0003] 一是事后人工检靶,根据弹丸爆炸弹坑判定弹丸的弹着点。由于训练中射击批次的间隔只有几分钟,地面报靶人员往来不及对每批次的射击成绩进行单个检验,往往完成多个批次射击只有一起报靶。这种方法不仅费时费力,检靶时存在未爆弹安全隐患,而且时效性、准确性都较差。

[0004] 二是使用光幕靶。光幕靶用于分析轻武器飞行弹丸的速度及落点分布情况,由激光光源阵列及光电二极管阵列构成,其结构复杂成本高,探测范围小,多用于实验室环境中,参见:1、《弹丸速度及弹着点坐标测量系统研究》,《弹道学报》第20卷第1期,55~58页。2、《弹丸着靶坐标测试系统的原理与信号处理电路》,《测试技术学报》,第19卷第1期,11~17页。对于面积大,环境复杂的野外训练靶场,很难适用。

[0005] 三是使用声靶。声靶是利用传声器探测超音速弹丸的激波宽度来推算弹丸与传声器之间的距离。这种方法受到诸多因素的影响,如环境条件:环境风速、温度、海拔高度、其他高速飞行器等;弹丸的特性:不同弹丸的弹形系数、弹径、弹长等;弹丸的飞行特性:着靶速度、姿态;射击方式:单射、连射、齐射、齐连射;射击平台:机动与否、与靶之间距离等。这些因素都严重地影响着测量精度,即使进行了复杂的修正和标校,也无通用性,在某些情况下甚至可能造成重弹、漏测现象,参见:1、中国专利“基于弹丸激波宽度的报靶系统”公开号CN102435106A;中国专利“激波报靶系统”公开号CN1967136A;中国专利“智能定位报靶系统”公开号CN1462864A;2、“基于弹丸激波的弹着点自动检测系统研制”,李言华,硕士论文,南京理工大学,2007年。

[0006] 以上报靶方法中,方法二在技术上与本发明最为接近,都是采用光电探测技术,但是其缺点明显:一是结构复杂,成本较高,而且靶场设置难度大;二是测量的范围小,多在 $1 \times 1\text{m}^2$ 以下,而训练用射击地靶通常为直径为15m以上的圆范围,因而很难应用。方法三在弹着点定位原理上与本发明最为接近,都是测量弹道上弹丸的位置,从而推算出弹着点位置,但该方法只能针对特定的弹丸、特定的弹速和特定的环境,并且需经过复杂的标校后方可使用,通用性受到诸多严重限制。本发明采用激光探测测距技术,没有方法三的各种限制条件,使用方便,通用性大大加强。

发明内容

[0007] 针对上述问题,本发明提供一种能够在野外大范围探测弹丸特别是小口径弹丸,

实时精确确定弹着点位置的对地攻击训练弹丸弹着点激光探测报靶系统,解决现有射击地靶训练中报靶手段工作量大,精度低、实时性差、通用性差等问题,实现自动和精度报靶。

[0008] 为达到上述发明目的,本发明对地攻击训练弹丸弹着点激光探测报靶系统,其特征在于:包括激光探测自动检靶子系统、控制与报靶子系统以及无线通讯子系统;

[0009] 其中,所述激光探测自动检靶子系统,包括至少3台激光探测器,所述激光探测器由激光发射装置和激光接收装置构成,所述激光发射装置向空中发射一束或一组“扇面”型探测激光束,至少两台探测器发出的探测激光束共面,所述的探测激光束的共面部分叠加为一个激光靶面;

[0010] 所述控制与报靶子系统,包括工作状态控制模块、参数设置模块、数据处理模块,其中

[0011] 所述工作状态控制模块,用于控制和转换激光探测自动检靶子系统的工作状态;

[0012] 所述参数设置模块,用于报靶参数设置,所述的报靶参数至少包括弹药型号、发射数量、攻击方式、攻击方向、测量频率;

[0013] 所述数据处理模块,用于对激光探测自动检靶子系统测量数据进行实时处理、计算,形成靶试成绩数据,显示在激光靶面上和地靶上的弹着点分布,输出报靶数据的偏差数据,所述报靶数据至少包括攻击训练在攻击方向、俯冲角度、攻击时机的数据。

[0014] 所述无线通讯子系统,用于对激光探测自动检靶子系统和控制与报靶子系统之间的通讯和数据传输。

[0015] 进一步地,所述的激光探测器为高频脉冲激光探测器。

[0016] 进一步地,在弹丸穿过激光靶面的过程中,基于高频脉冲激光探测技术对弹丸进行探测,其中激光发射装置发射的脉冲激光在弹丸上反射后被激光接收装置所接收,实现对弹丸的探测;所述激光探测器发射的脉冲激光重复频率大小的选择需根据弹丸尺寸、穿靶速度、数据处理要求因素而决定,保证在弹丸高速穿过激光靶面的过程中至少有一次实现对弹丸的有效探测。

[0017] 进一步地,在弹丸穿过激光靶面的过程中,基于高精度激光测距技术和雷达定位技术对单射和连射的弹丸进行定位;

[0018] 通过激光探测器发射激光束,测量激光遇弹丸的返回时间获取弹丸与探测器距离,再根据两台以上激光探测器的相对位置信息及其在同一时刻与弹丸的距离值计算弹丸在激光靶面上的空间位置。

[0019] 具体地,弹丸在激光靶面上的弹着点或穿过点为P,两台探测器实测的离弹着点或穿过点的距离分别是 R_1 和 R_2 ,两台探测器的位置由 $(R\cos\theta_1, R\sin\theta_1)$ 、 $(R\cos\theta_2, R\sin\theta_2)$ 决定,其中 R 为探测器离靶心距离, θ_1 、 θ_2 为两台探测器相对靶心的方位角,则P点的位置 $P(r\cos\theta, r\sin\theta)$ 由下式确定:

$$[0020] \quad \begin{cases} R_1^2 = R^2 + r^2 - 2Rr\cos(\theta - \theta_1) \\ R_2^2 = R^2 + r^2 - 2Rr\cos(\theta - \theta_2) \end{cases}$$

[0021] 其中, r 为弹着点离靶心距离, θ 为弹着点相对靶心的方位角。

[0022] 进一步地,弹着点 $P(r\cos\theta, r\sin\theta)$ 的定位误差 Δr 、 $\Delta\theta$ 至少包括由两台探测器测距误差引起的弹着点定位误差和探测器在靶场的安装误差;

[0023] 安装误差为固定误差,通过调试消除;

[0024] 由两台探测器测距误差引起的弹着点定位误差,由下式确定:

$$[0025] \begin{cases} \Delta r_{12} = \frac{R_1 \Delta R_1 \sin(\theta - \theta_2) - R_2 \Delta R_2 \sin(\theta - \theta_1)}{2 \sin \frac{\theta_2 - \theta_1}{2} [R \cos \frac{\theta_2 - \theta_1}{2} - r \cos(\theta - \frac{\theta_1 + \theta_2}{2})]} \\ \Delta \theta_{12} = \frac{R_1 \Delta R_1 [r - R \cos(\theta - \theta_2)] - R_2 \Delta R_2 [r - R \cos(\theta - \theta_1)]}{2 R r \sin \frac{\theta_2 - \theta_1}{2} [r \cos(\theta - \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}) - R \cos \frac{\theta_2 - \theta_1}{2}]} \end{cases}$$

[0026] 其中, ΔR_1 、 ΔR_2 为两台探测器的测距误差, Δr_{12} 、 $\Delta \theta_{12}$ 是由上述两台探测器测距误差引起的定位误差。

[0027] 具体地,每台激光探测器采用多发射单接收、单发射多接收或者多发射多接收三种方式;

[0028] 其中所述的多发射单接收是指多个轮流发射的激光束拼接成一个激光束,只有一个大视场角接收器接收;

[0029] 所述的单发射多接收是指只发射一个激光束,由多个小视场角的接收器拼接成大视场角接收或由一个线性阵列接收器完成接收;

[0030] 所述的多发射多接收是指多个轮流发射的激光束,由多个小视场角的接收器拼接成大视场角接收或由一个线性阵列接收器完成接收。

[0031] 特别地,以上激光探测器在激光收发期间采用轮流循环收发的方式。

[0032] 进一步地,采用两组探测器在地面上进行配置,探测弹道上的两个不同的点,确定弹道方向、弹速,并为由激光靶面上的弹着点解算出弹丸在地靶上的弹着点提供必需的参数。

[0033] 有益效果:

[0034] 与现有的报靶系统和相关技术相比,具有以下有益效果:

[0035] (1)探测范围大:可实现直径40m圆范围内的弹着点精确定位;

[0036] (2)通用性强:对不同环境、不同弹丸、不同弹速无需进行调校。一个靶场安装一套系统,适用于20mm以上口径的各种弹丸、各种弹速;适用于各种发射平台(运动中的飞机火炮、坦克火炮;地面固定的火炮等);适用于不同的发射点、发射速度、发射方式(单射、连射、齐射等);

[0037] (3)不需要通过人工检靶判断弹着点位置,工作量大大降低。

附图说明

[0038] 图1为本发明对地攻击训练弹丸弹着点大范围激光探测报靶系统组成框图;

[0039] 图2为激光探测自动检靶子系统在靶场内布局示意图;

[0040] 图3两台激光探测器对单个弹丸的探测和定位示意图;

[0041] 图4弹丸末端弹道与激光靶面的交会空间示意图。

具体实施方式

[0042] 下面结合说明书附图对本发明做进一步的描述。

[0043] 本发明对地攻击训练弹丸弹着点大范围激光探测报靶系统,所述系统由激光探测

自动检靶子系统、控制与报靶子系统、无线通讯子系统组成,如附图1所示。

[0044] 激光探测自动检靶子系统由多台交联的激光探测器组成,采取一定的安全防护措施分别安装靶场内的地靶周围,在满足所需探测范围要求时,尽可能远离地靶。

[0045] 进一步地,每台探测器都是高频脉冲激光探测器,由激光发射装置和激光接收装置构成。激光发射装置向空中发射一束(或一组)高频探测激光束(组),该激光束(组)的照射范围纵向窄、横向宽,近似等效为一个以探测器为原点的“扇面”。激光束(组)纵向照射角的大小由目标反射特性、探测范围、数据处理要求等因素决定,一般应小于 0.5° ;横向照射角的大小由探测范围和激光探测器性能决定。

[0046] 进一步地,为解决齐射或齐连射时多发同时到达激光靶面的弹丸定位问题,以及大视场角范围内的大气对激光干扰问题,每台激光探测器可采用“多发射单接收”、“单发射多接收”或者“多发射多接收”三种方式。所述的“多发射单接收”是指多个轮流发射的小“扇面”激光束拼接成一个大“扇面”型激光束,只有一个大视场角接收器接收;“单发射多接收”是指只发射一个大“扇面”激光束,由多个小视场角的接收器拼接成大视场角接收(也可以由一个线性阵列接收器完成接收);“多发射多接收”是前述两种方式的综合方式。一台激光探测器采用前述三种方式的何种,以及确定发射激光束“扇面”的多少和激光接收器的数量,是由弹丸齐射的特征、所需探测目标的大小、探测范围的宽广、生产成本等因素所决定。

[0047] 进一步地,至少两台探测器发出的激光束共面,其在有效探测范围内叠加为一个激光靶面(见图3)。激光靶面设置成立靶或者水平靶,由地表附近是否有干扰物(弹丸爆炸的飞溅物、吹起的杂物、飞行的昆虫等)产生干扰而决定,但激光靶面沿弹丸末端弹道方向在地面的斜投影应覆盖地靶。

[0048] 进一步地,对弹丸高速穿过激光靶面时的探测是基于高频脉冲激光探测技术。激光发射装置发射的高频脉冲激光在弹丸上多次反射后被激光接收装置所接收,实现对弹丸的多次探测。激光探测器除满足有效探测距离要求外,激光发射的脉冲重复频率大小的选择需根据弹丸尺寸、穿靶速度、数据处理要求等因素而决定,应保证在弹丸高速穿过激光靶面的过程中至少有一次实现对弹丸的有效探测。

[0049] 进一步地,对弹丸在激光靶面上的弹着点(穿过点)的定位是基于高精度激光测距技术和雷达定位技术。对单射和连射时的弹丸的定位,是通过激光探测器发射激光束,测量激光遇弹丸的返回时间获取弹丸与探测器距离,再根据两台或以上探测器的相对位置信息及其在同一时刻与弹丸的距离值计算弹丸在激光靶面上的空间位置。其原理如下:

[0050] 图3中,P为弹丸在激光靶面上的弹着点(穿过点),探测器1和探测器2实测的离弹着点的距离分别是 R_1 和 R_2 。两台探测器的位置由 $(R\cos\theta_1, R\sin\theta_1)$ 、 $(R\cos\theta_2, R\sin\theta_2)$ 决定,为固定值,其中 R 为探测器离靶心距离, θ_1 、 θ_2 为两台探测器相对靶心的方位角。故P点的位置 $P(r\cos\theta, r\sin\theta)$ 可由下式确定下来:

$$[0051] \quad \begin{cases} R_1^2 = R^2 + r^2 - 2Rr \cos(\theta - \theta_1) \\ R_2^2 = R^2 + r^2 - 2Rr \cos(\theta - \theta_2) \end{cases} \quad (1)$$

[0052] 其中, r 为弹着点离靶心距离, θ 为弹着点相对靶心的方位角。

[0053] 进一步地,弹着点 $P(r\cos\theta, r\sin\theta)$ 的定位误差 Δr 、 $\Delta\theta$ 主要由探测器测距误差和探测器在靶场的安装误差引起。安装误差为固定误差,可通过调试消除;测距误差由探测器性能所决定,为随机误差,不能消除。由两台探测器测距误差引起的弹着点定位误差,由下

式确定：

$$[0054] \quad \begin{cases} \Delta r_{12} = \frac{R_1 \Delta R_1 \sin(\theta - \theta_2) - R_2 \Delta R_2 \sin(\theta - \theta_1)}{2 \sin \frac{\theta_2 - \theta_1}{2} [R \cos \frac{\theta_2 - \theta_1}{2} - r \cos(\theta - \frac{\theta_1 + \theta_2}{2})]} \\ \Delta \theta_{12} = \frac{R_1 \Delta R_1 [r - R \cos(\theta - \theta_2)] - R_2 \Delta R_2 [r - R \cos(\theta - \theta_1)]}{2 R r \sin \frac{\theta_2 - \theta_1}{2} [r \cos(\theta - \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}) - R \cos \frac{\theta_2 - \theta_1}{2}]} \end{cases} \quad (2)$$

[0055] 式(2)中, ΔR_1 、 ΔR_2 为探测器1和探测器2的测距误差, Δr_{12} 、 $\Delta \theta_{12}$ 是由上述两台探测器测距误差引起的定位误差,其他符号同式(1)。

[0056] 显然,同一个弹着点的定位误差除与探测器测距误差有关外,还与两台探测器的安装位置有关。在探测器测距精度一定的条件下,为提高弹丸在激光靶面上的定位精度,采用两台以上的激光探测器,分别安装在地靶的不同位置,并形成同一激光靶面,对弹丸穿过的同一点同时进行探测,取两台以上激光探测器两两确定的弹丸位置精度最高的数据。

[0057] 进一步地,为避免两台或以上激光探测器在激光收发期间的互相干扰,应采用轮流循环收发的方式。

[0058] 进一步地,为确定弹丸的末端弹道特性,采用两组探测器(每组两台探测器)在地面上进行合理配置,见图2的探测器1、2和探测器3、4,探测弹道上的两个不同的点,进而确定弹道方向、弹速等,并由激光靶面上的弹着点解算出弹丸在地靶上的弹着点提供必需的参数。

[0059] 控制与报靶子系统位于靶场外的安全区域,由一台计算机和相应的数据处理和逻辑控制软件组成,主要完成以下功能:

[0060] ①控制和转换激光探测自动检靶子系统的工作状态,所述工作状态有待机状态和探测状态两种,其中由待机状态到探测状态手动完成,由探测状态到待机状态有自动完成和手动完成两种方式。由探测状态自动转换到待机状态可根据被探测对象的特性进行逻辑判别完成。

[0061] ②参数设置,包括设置弹丸型号、发射数量、攻击方式、攻击方向、靶场内探测器的位置参数、测量频率等。

[0062] ③对激光探测自动检靶子系统所测数据进行实时处理、计算,形成训练成绩数据,直观显示激光靶面和地靶上的弹着点分布,提供本次攻击训练在攻击方向、攻击时机等方面存在的偏差数据。

[0063] 无线通讯子系统实现对靶场内激光探测自动检靶子系统和靶场外控制与报靶子系统之间的数据传输。

[0064] 使用对象:以空中飞机为发射平台的航空炮弹对地靶的攻击训练,见图2。

[0065] 使用对象的条件:飞机的进入航向一定。炮弹采取连射射击方式,每次连射6发炮弹,两两炮弹的间隔时间大于40ms,炮弹有效尺寸为 $\Phi 23 \times 100\text{mm}$,在弹道末端速度不大于800m/s,进入角 $\alpha = 30^\circ \pm 5^\circ$, $\alpha = 30^\circ$ 是标准进入角。地靶为位于地平面上的直径为15m的靶环。

[0066] 要求:对靶环范围内的弹着点进行有效探测和精确定位。

[0067] 针对所述使用对象的条件和要求,本发明提出的对地攻击训练弹丸弹着点激光探

测报靶系统的实施例为：

[0068] 本实施例的对地攻击训练弹丸弹着点大范围激光探测报靶系统由激光探测自动检靶子系统、控制与报靶子系统、无线通讯子系统组成，

[0069] 激光探测自动检靶子系统：

[0070] 采用四台激光探测器配置，由电缆连接在一起组成所述子系统。

[0071] 每台激光探测器由激光发射装置和激光接收装置组成，由于探测对象为极小目标，故探测器采用“多发射单接收”方式。具体为：激光发射装置采用10个激光发射管，通过10个凸透镜和1个柱面镜分别准直成10个纵向角 0.2° 、横向角 10° 的激光小“扇面”，再通过横向组合（中间有 0.5° 角叠加），形成1个纵向角 0.2° 、横向角 90° 的激光大“扇面”；激光接收装置以大于 90° 的视场角覆盖激光束接收，激光接收装置的激光接收器工作时刻与每个激光发射管的开始发光时刻同步。每台探测器的有效探测距离大于20m，测距误差的上下限 $\pm 0.1\text{m}$ 。激光脉冲发射频率50K（测距频率）。

[0072] 四台激光探测器在靶场内的布局：在地靶平面上建立参考坐标系 xoy ，其中 oy 轴在飞机俯冲攻击训练的标准垂直平面内。四台激光探测器在参考坐标系 xoy 内的位置点分别为 $(R, \theta_1) = (20\text{m}, 260^\circ)$ 、 $(R, \theta_2) = (20\text{m}, 280^\circ)$ 、 $(R, \theta_3) = (15\text{m}, 225^\circ)$ 、 $(R, \theta_4) = (15\text{m}, 315^\circ)$ ，其中探测器1的激光探测面1和探测器2的激光探测面2叠加成一个激光靶面12，同样，激光靶面34由探测器3和探测器4的激光探测面叠加而成。激光靶面12和激光靶面34设置成相互平行且垂直于弹丸标准进入方向（ $\alpha = 30^\circ$ ），即探测器1和2、探测器3和4分别形成的立靶型的激光靶面12、激光靶面34沿弹丸进入方向（ $\alpha = 30^\circ \pm 5^\circ$ ）在地面的斜投影覆盖地靶。

[0073] 为避免四台激光探测器之间在工作期间的互相干扰，采取依次轮流循环的工作方式。即：激光探测器1的10个激光发射管与单个激光接收器依次进行10次激光发收、完成 90° 视场角内的扫描探测，然后探测器2才依次进行同样的扫描探测，直至探测器4最后依次完成同样的扫描探测。相邻两次激光发收的间隔时间取 $0.3\mu\text{s}$ 。至此，四台激光探测器共完成40次激光发收，实现一个循环。然后再进行下一个同样的循环。一个循环的周期（ $40 \times 0.3\mu\text{s} = 12\mu\text{s}$ ）小于激光重复发射的周期（ $1/50\text{K} = 20\mu\text{s}$ ）。

[0074] 无线通讯子系统：

[0075] 无线通讯子系统由靶场内的配置在探测器1上的无线收发装置和靶场外的无线收发装置（与控制与报靶子系统有数据接口）组成，完成激光探测自动检靶子系统和控制与报靶子系统中间的数据交换。

[0076] 控制与报靶子系统：

[0077] 控制与报靶子系统由一台计算机和相应的软件组成。主要软件有：

[0078] 控制软件：控制靶场内激光探测自动检靶子系统的开机和关机。

[0079] 参数设置软件：进行靶场内探测器的位置、弹丸型号、一次发射弹丸数量、攻击方式、攻击方向、测量频率等参数的设置。

[0080] 数据处理软件，主要包括：

[0081] ①数据均值计算软件：

[0082] 目的：消除探测器在实测距离时存在的一部分随机误差。

[0083] 当单个弹丸穿过激光探测面（参见图2和图3）后，根据实时传来的实测数据，进行均值计算，计算公式如下：

$$[0084] \quad \begin{cases} \overline{R_i} = R_{0i} + \Delta R_{0i} = \frac{\sum_{j=1}^n R_{ij}}{n} = R_{0i} + \frac{\sum_{j=1}^n \Delta R_{ij}}{n} \\ i = 1, 2, 3, 4 \end{cases} \quad (3)$$

[0085] 式(3)中:

[0086] $\overline{R_i}$ 和 $\overline{\Delta R_{0i}}$ 分别为探测器 i 进行 n 次实测的距弹着点 P 的距离的均值和进行 n 次测距的随机误差均值;

[0087] R_{0i} 为探测器 i 距激光探测面 i 上的弹着点 P 的实际距离值;

[0088] R_{ij} 和 ΔR_{ij} 分别为单个弹丸穿过激光探测面 i 时, 探测器 i 第 j 次实测的距弹着点 P 的距离值和第 j 次测距的随机误差;

[0089] n 为弹丸穿过激光探测面 i 的过程中测距的实际次数, $n \approx (\text{弹丸长度} \div \text{弹丸速度}) \times \text{测距频率}$, 在本实施例中, $n \geq (0.1\text{m} \div 800\text{m/s}) \times 50\text{K} = 6$ 次(取整)。即对有效尺寸为 $\Phi 23 \times 100\text{mm}$ 、速度不大于 800m/s 的炮弹弹丸, 一台探测器能够进行 6 次以上的有效探测。

[0090] 显然, $|\overline{\Delta R_{0i}}| \leq |\Delta R_{ij}|_{\max} (j=1, \dots, n)$, $\overline{R_i}$ 比 R_{ij} 更接近于 R_{0i} 。

[0091] ②激光靶面上弹着点定位软件:

[0092] 目的:对弹丸在激光靶面上的弹着点进行定位。

[0093] 对激光靶面 12(或激光靶面 34)建立坐标系 $o'x'y'z'$ (或 $o''x''y''z''$), 令 $R_1 = \overline{R_1}, R_2 = \overline{R_2}$ (或 $R_1 = \overline{R_3}, R_2 = \overline{R_4}$), 参考(1)式计算弹着点 P 在激光靶面 12(或激光靶面 34)上的位置 $P_1' = P_{12}(r_{12} \cos\theta_{12}, r_{12} \sin\theta_{12}, 0)$ (或 $P_1'' = P_{34}(r_{34} \cos\theta_{34}, r_{34} \sin\theta_{34}, 0)$)。

[0094] ③线性相关性计算软件:

[0095] 目的:当弹丸进行连射时, 利用连射的多发弹丸在同一激光靶面上的多个弹着点必在一条直线上的假设, 消除一部分由探测器测距的随机误差引起的弹着点在激光靶面上的位置误差。

[0096] 一般情况下, 连射的 6 发弹丸的末端弹道(见图 4 中的 l_1, l_2) 都在同一个平面(弹丸攻击平面)内, 且该平面为垂直面。那么, 6 发弹丸在同一个激光靶面 12 上的弹着点 P_1', P_2' 等必然在同一直线上, 但由于测距随机误差的存在, 导致实际探测确定的弹着点位置可能不在该直线上。为此, 对实测的弹着点位置进行线性回归修正。步骤如下:

[0097] 第一步, 实测弹着点位置的线性拟合, 计算式为

$$[0098] \quad \begin{cases} \hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x \\ \hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n\bar{x}\bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2} \\ \hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x} \end{cases} \quad (4)$$

[0099] 式(4)中,

[0100] $P_i(x_i, y_i, 0)$ 为实测并由上述软件①和②计算确定的第 i 发弹丸在同一激光靶面上

的弹着点位置数据, $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ 为相应的n个弹着点位置数据的均值;

[0101] n为连射的弹丸在同一激光靶面上的弹着点数量,在本实施例中 $n \leq 6$;

[0102] $\hat{\beta}_1$ 、 $\hat{\beta}_0$ 为拟合的参数;

[0103] $y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x$ 为拟合的直线方程,以该直线替代在同一激光靶面上的实际弹着点形成的直线。

[0104] 第二步,以拟合点替代实测弹着点

[0105] 某个实测弹着点的拟合点是指该实测弹着点在拟合直线上的对应点,该对应点是拟合直线上所有的点中离实测弹着点距离最小的那个点,设拟合点为 $P_{0i}(x_{0i}, y_{0i}, 0)$,则计算式如下:

$$[0106] \begin{cases} y_{0i} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_{0i} \\ \frac{y_i - y_{0i}}{x_i - x_{0i}} \cdot \hat{\beta}_1 = -1 \end{cases} \quad (5)$$

[0107] 式(5)中, $P_i(x_i, y_i, 0)$ 为与拟合点 $P_{0i}(x_{0i}, y_{0i}, 0)$ 对应的实测弹着点,其他符号含义同式(4)。

[0108] 用式(5)解得拟合点 $P_{0i}(x_{0i}, y_{0i}, 0)$,替代实测弹着点 $P_i(x_i, y_i, 0)$,显然更接近于相应的实际弹着点。

[0109] 值得注意的是,在本实施例中,另一个激光靶面34上的弹着点 P_1'' 、 P_2'' 等也是按照上述方法进行线性拟合修正,并且拟合的直线 $P_1''P_2''$ 与激光靶面12上拟合的直线 $P_1'P_2'$ 必须相互平行,形成的平面 $P_1'P_2'P_2''P_1''$ 必须为垂直平面。利用该结论,可对两条拟合直线相互修正,以进一步提高弹着点的定位精度,具体计算在此不再赘述。

[0110] ④攻击方向和地靶水平面上弹着点生成软件:

[0111] 目的:确定弹丸的实际攻击方向,推算弹着点在地靶水平面xoy上的分布。

[0112] 在本实施例中,一般是按照标准的攻击方向(飞机航向沿oy轴方向,弹丸进入角为 30°)进行攻击,但飞行员在实际操作中,攻击方向不可避免地存在一些偏差。为求得实际攻击方向,进而推算出弹丸在地靶水平面上的分布,采用以下计算方法。

[0113] 建立空间直角坐标系oxyz、 $o'x'y'z'$ 和 $o''x''y''z''$ ($o''x''y''z''$ 在图4中未显示)。

[0114] 将通过实测并由上述软件①、②、③处理过的在激光靶面上的弹着点,转换到坐标系oxyz中。显然,在坐标系oxyz中的空间点 P_1' 、 P_1'' 形成空间直线 $P_1'P_1''$,该直线与地靶水平面xoy的交点 P_1 即为弹丸在地靶水平面上的弹着点,而该直线与地靶水平面xoy的交角 α 即为弹丸进入角,过直线 $P_1'P_1''$ 的垂直平面(弹丸攻击平面)与地靶水平面的交线 P_1P_2 的方向即为实际攻击航向。具体计算过程略。

[0115] 另外,对于激光靶面上只有单个弹着点 P_1' 、 P_1'' 的情况,省略③线性相关性计算软件的运算,其他运算与上述方法相同。

[0116] ⑤地靶弹着点生成软件和训练成绩生成软件:

[0117] 目的:将图4中地靶水平面坐标系xoy内的弹着点分布转换到图2中地靶坐标系xoy中,提供弹着点分布图,根据成绩评定标准提供本次攻击训练成绩单,并将成绩单及其本次

训练的实际攻击航向、弹丸进入角等数据实时通报给本次攻击训练的飞行员,以便于飞行员及时改进训练技能,提高训练质量。具体计算过程略。

[0118] 对本发明应当理解的是,以上所述的实施例,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细的说明,以上仅为本发明的实施例而已,并不用于限定本发明,凡是在本发明的精神原则之内,所作出的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内,本发明的保护范围应该以权利要求所界定的保护范围为准。

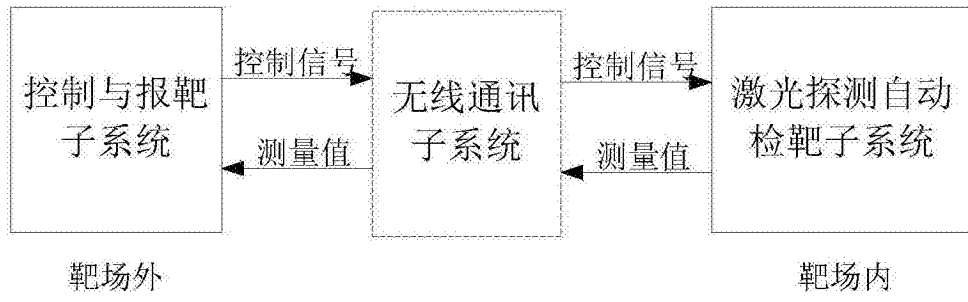


图1

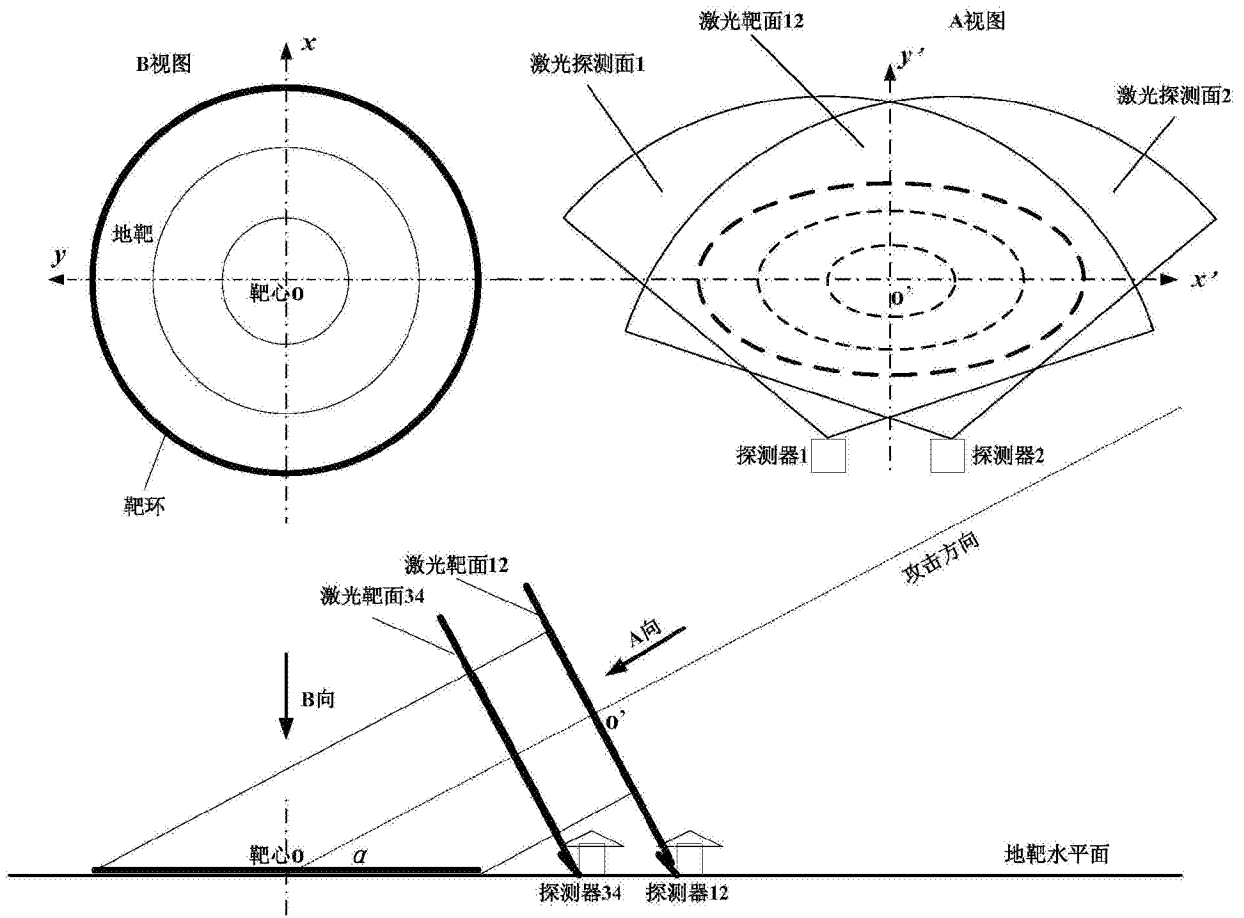


图2

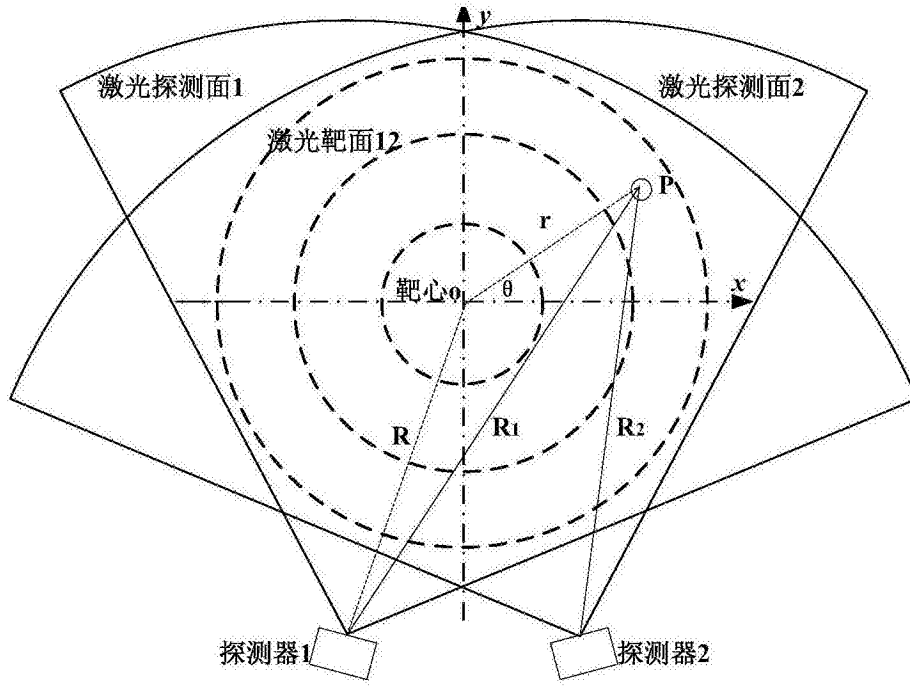


图3

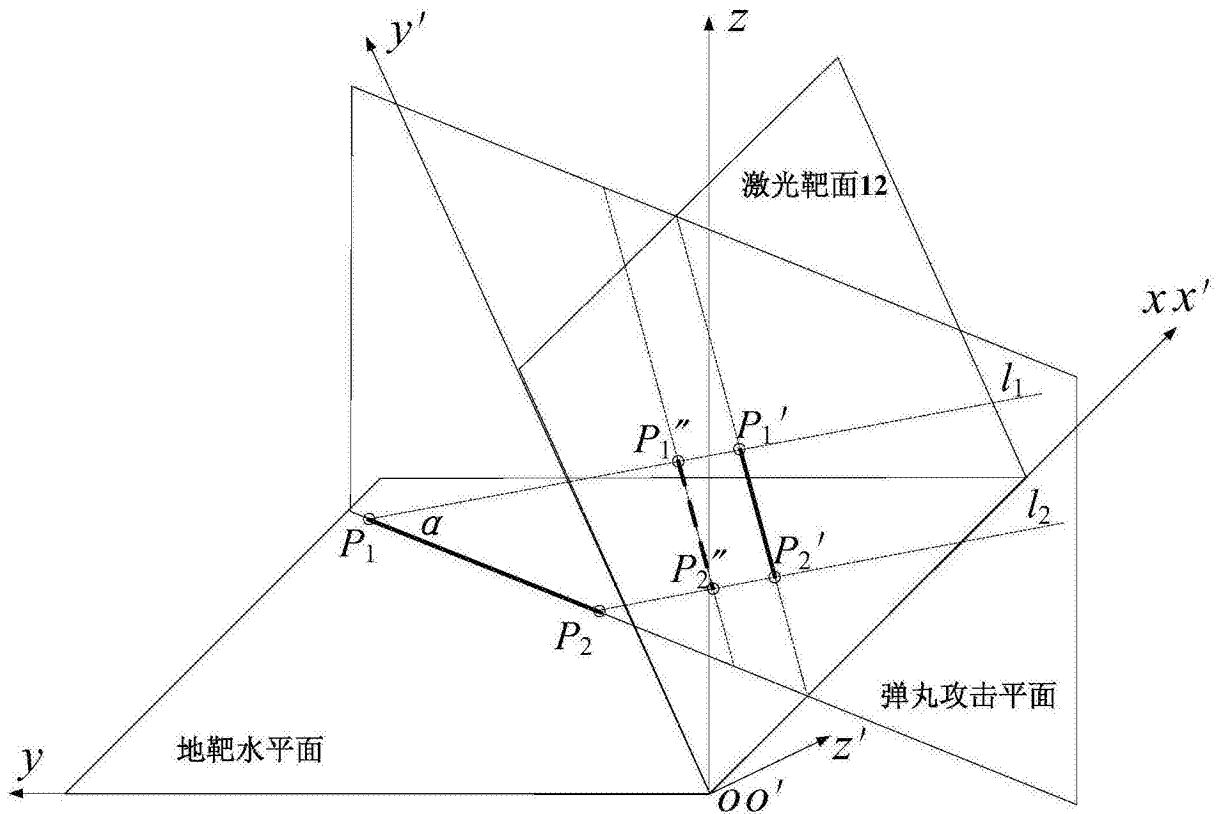


图4