

遥测 GPS/BD 定位数据实时引导雷达局部组网技术

李鹏勃, 马方远, 杜剑英, 王 茜, 刘 鹏

(中国兵器工业试验测试研究院, 陕西 华阴 714200)

摘要:为满足靶场航落区外弹道测试以及关键段测试需求, 利用弹载 GPS/BD 导航信息误差固定、不会随时间累加的特点, 结合遥测地面站波束角宽的测试优势, 提出一种利用遥测 GPS/BD 定位数据实时引导雷达局部组网技术; 该方法首先对遥测地面站接收到的 GPS/BD 数据进行实时解算、坐标转换; 然后通过指控网络将引导数据实时发送至雷达, 实现遥测引导雷达; 为保证整个传输过程数据可靠稳定, 通过添加校验后再传输的方法, 提高传输数据质量; 通过实际应用, 该方法可以稳定可靠的引导雷达完成测试任务。

关键词: 引导测试; 局部组网; 数据校验

Local Networking Technology of Real-time Guidance Radar for Telemetry GPS/BD Positioning Data

Li Pengbo, Ma Fangyuan, Du Jianying, Wang Qian, Liu Peng

(China Academy of Weapon Industry Test and Measuring, Huayin 714200, Shanxi)

Abstract: In the range test, the traditional single reference station has limited its range due to the limitation of the baseline length, and the difference accuracy is obviously affected by the decrease of the atmospheric error after a certain distance. In order to solve the problem that the GPS single frequency pseudorange differential positioning accuracy decreased resulted from far distance, a multi-base station GPS positioning pseudorange differential location method is proposed. This method analyzes the relationship between pseudorange equation and pseudorange differential location in depth; establishes a range base station to receive real-time target data and base station positioning data and transmits it to the control center. In order to solve the target location information in real time, this method designs multi-base station data processing algorithm and multi-baseline measurement data weighted processing method, which uses distance difference based linearity difference model. The test results show that the multi-base station GPS positioning pseudorange differential positioning method can effectively solve the problem that the precision of single-base pseudorange differential positioning decreases with the increase of the distance between the subscriber station and the base station, and improves the test precision.

Keywords: boot test; local networking; data validation

0 引言

随着现代兵器技术特别是信息技术在兵器装备领域的不断发展和应用, 常规武器将进一步向远程打击、高速机动、精确制导、高效毁伤等方向发展, 武器系统的快速发展, 势必带来新测试技术和测试方法的快速发展, 提高靶场测试能力, 研究新的测试技术以及测试方法, 是新时期靶场建设的一项迫在眉睫的任务。传统的靶场外弹道测试主要依靠雷达设备和光学设备, 这些测量设备在以往的靶场外弹道测试中发挥了至关重要的作用。雷达设备由于受到功率、设备精度等因素的影响, 跟踪距离短, 而且随着时间的推移, 测量误差会越来越大; 光电设备通过光学原理实现对目标的跟踪测试, 但是光学设备对自然环境天气依赖性比较高, 且测量精度受到设备自身精度、布站位置、交汇角等因素的影响比较大。随着 GPS/BD 定位技术的快

速发展, 由于其自身的精度一致性好, 测量精度不会随时间发生变化, 且可以全天时进行工作, 不受环境天气等因素的影响, 为新形势下武器系统的外弹道飞行轨迹测量提供了有力的技术支持, 是新形势下武器系统测量的一种有效途径。

目前武器项目在靶场进行科研阶段关键技术验证试验时, 对试验飞行关键弹道段的测试数据以及武器系统的残核回收尤为关注, 由于科研阶段武器系统弹道准确性和弹内测试系统可靠性较低。在实际飞行过程中, 武器系统飞行测量主要依托雷达和遥测的测试数据, 雷达主要负责外弹道测量, 遥测负责接收武器系统内部飞控数据, 包括武器系统 GPS/BD 定位数据。雷达外测设备在没有靶场网络覆盖的试验弹道航区、落区进行测试时, 由于设备自身天线波束与观测角度小 (全功率天线半波束角一般都小于 0.5°)、无目标搜索功能, 在航区落区测试时, 通过程控理论弹道驱动天线进行测试, 当实际飞行与理论弹道出现较大偏差时, 由于雷达自身波束较窄, 可能探测不到目标, 增加试验测试风险^[1]。通过对靶场测试设备分析, 通过遥

收稿日期:2019-04-01; 修回日期:2019-05-28。

作者简介:李鹏勃(1983-),男,陕西西安人,硕士研究生,高工,主要从事靶场遥测及 GPS/北斗定位方向的研究。

测与雷达组网的测试方法, 提出利用遥测天线波束角宽(一般都大于 5°)、遥测数据中的 GPS/BD 定位数据, 通过多设备局部组网方式, 引导雷达进行跟踪测试的方法。该方法利用遥测地面站天线波束角大、捕获距离远、GPS/BD 组合导航定位信息误差固定、不随弹道的变化而变化、可全天候测试等特点, 将遥测、弹载遥测数据实时处理系统、雷达布设在航区和落区弹道关键段, 组成局域网, 利用遥测地面站接收到的 GPS/BD 导航信息, 引导雷达进行跟踪测试^[2,3]。

1 遥测引导雷达测试

弹载遥测 GPS/BD 信息引导雷达方法主要包括以下几个步骤, 首先弹载 GPS/BD 实时测量弹体的时空位置, 遥测采编器采集 GPS/BD 发送的实时位置信息, 通过遥测发射机与遥测发射天线发射到空间; 遥测地面站实时接收弹载遥测发射机发送的遥测数据, 数据处理终端通过网络方式提取实时遥测数据, 然后对提取的遥测实时数据结合遥测数据波道编码方式, 将 GPS/BD 数据从波道中实时提取, 实时还原为原始 GPS/BD 数据, 然后对原始 GPS/BD 数据进行坐标转换, 转换为武器系统发射坐标系下的坐标数据, 并将坐标数据按照雷达的引导需求, 通过指控中心网络实时发送至雷达, 完成引导测试功能。其主要流程如下图 1 所示。

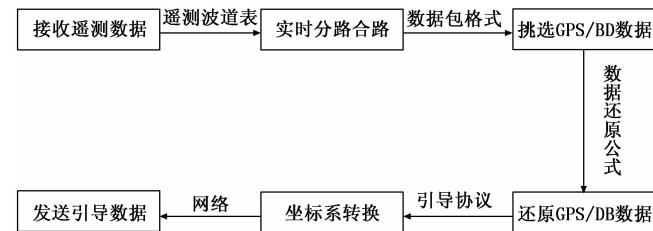


图 1 GPS/BD 数据处理流程图

试验开始前, 将遥测地面接收设备与雷达设备进行组网, 遥测地面站和雷达加载理论弹道; 试验开始后, 遥测地面站和雷达设备按照理论弹道驱动天线进行搜索, 由于遥测地面站天线波束宽、接收距离远, 易于捕获目标, 当遥测地面站接收到遥测数据后, 信号稳定, 实时解析遥测数据中的 GPS/BD 定位数据, 解析后, 并实时发送至雷达设备, 引导雷达进行测试, 当雷达通过引导数据捕获目标后, 雷达切换至自跟踪模式, 进行测试。试验过程中, 当雷达丢失目标时, 切换回引导测试模式, 捕获目标后, 再切换回自跟踪模式进行测试。

2 遥测引导雷达局部组网设计

2.1 测试局域网组建技术

靶场测试局域网是遥测地面站、遥测数据实时处理系统、雷达、通信指挥车(网络交换机)组成。采用通信指挥车可以将半径 15 km 内的测试设备组网, 采用网络交换机可以将布设在一起(100 m 内)的测试设备可靠组网。遥测地面站实时接收遥测数据并通过网线发送给遥测数据实

时处理系统, 遥测数据实时处理系统将处理好的引导数据通过无线 mesh(屏蔽网线)发送到通信指挥车(网络交换机), 雷达被引导设备通过无线(屏蔽网线)接收引导数据。局域网内的引导数据采用 UDP 协议组播方式进行传输, 组播传输算法采用核心树算法。

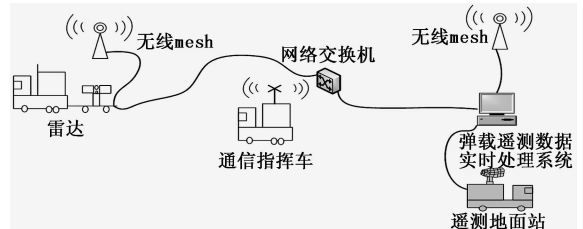


图 2 测试局域网组建示意图

2.1.1 组播工作原理

组播是一种允许一个或多个发送者(组播源)发送单一的数据包到多个接收者(一次的、同时的)的网络技术。它与广播传输的不同之处在于只有属于该组播组地址的主机才能接收到数据包。要实现组播, 组播源和组播接收者以及两者之间的网络连接都必须支持组播, 包括路由器、交换机、集线器和防火墙等网络设备均需支持组播^[4]。图 2 给出了组播的例子。

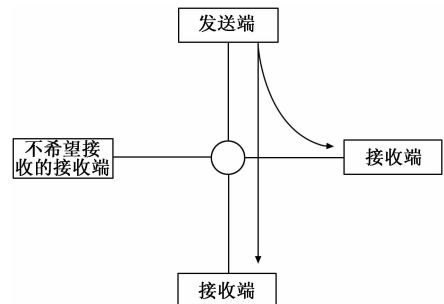


图 3 组播示例图

2.1.2 组播 IP 地址

IP 地址方案专口为组播划出一个地址范围, 在 IPv4 中为 D 类地址, 最高位为 1H0, 范围是 224.0.0.0 到 239.255.255.255, 并将 D 类地址划分为下 3 种:

- 1) 局部链接地址: 224.0.0.0~224.0.0.255, 用于局域网, 路由器不转发属于此范围的 IP 包;
- 2) 预留组播地址: 224.0.1.0~238.255.255.255, 用于全球范围或网络协议;
- 3) 管理权限地址: 239.0.0.0~239.255.255.255, 组织内部使用, 用于限制组播范围。

实际上, 在组播通信中, 需要两种地址: 一个 IP 组播地址和一个 Ethernet 组播地址。考虑到遥测站与雷达组网设备较少, 遥测与雷达组建局域网时, 组播的 IP 地址选为 224.0.0.1, 端口 8000。

2.1.3 核心树组播传送算法

组播的传送算法主要有洪泛法、生成树法、反向路径组播与核心树, 这些算法各有利弊, 同样考虑到局域网内

设备较少,为了提高网络资源利用效率,遥测与雷达组建局域网时,组播数据的传送采用核心树算法。

2.2 多设备间引导数据协议设计

2.2.1 引导数据可靠传输设计

使用弹载遥测 GPS/BD 数据引导雷达进行跟踪时,由于在航区和落区进行测试时,遥测地面站开始按照程控模式进行跟踪,开始发射后,距离远,遥测地面站收到的遥测数据误码多,引导数据的可靠性就会降低,雷达通过引导模式,接收引导数据,由于误码的原因,会导致雷达按照引导数据进行跟踪时,雷达天线偶尔会出现伺服失控现象。因此,必须保障引导数据信息在整个测试网络内的可靠传输,包括弹载 GPS/BD 定位数据到遥测地面站的可靠传输与引导数据在遥测、雷达的局域网内的可靠传输^[5]。

保障引导数据的可靠性传输,实质上是对需要传输的信息加上校验后再传输,接收数据的一方在收到数据后,先根据事先约定好的校验方法求得所接收到数据的校验字,然后与接收到的校验字进行比较,来判断接收到的数据是否在传输过程中发送错误^[6-7]。

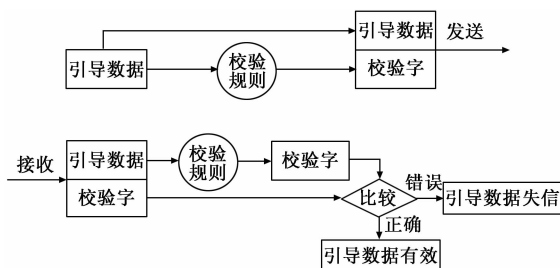


图4 引导数据可靠传输原理图

引导数据在多设备局域网内的可靠传输的方法为对实时处理后得到的数据加 CRC 校验后传输。

具体做法如下^[8-10]:

1) 引导协议设计时,加入 CRC 校验位,可以采取 16 位 CRC 校验,如果被引导设备本身的从动工作模式的引导协议不包含 CRC 校验,设计协议转化软件,部署在被引导设备上,由协议转换软件接收网络上的引导数据,并转化为被引导设备引导协议数据格式驱动被引导设备从动跟踪。

2) 对遥测数据实时处理软件得到的引导数据,加 CRC 校验后,按照规定的协议发送给雷达等被引导设备。

2.2.2 遥测引导雷达协议设计

对雷达引导可以使用指控中心网络协议将引导数据发送给指控中心,由指控中心对雷达进行引导,也可以按照遥测与雷达约定的直连协议进行引导。试验院现有弹道测试雷达主要有相控阵雷达、WEIBEL40、WEIBEL43 等三部雷达,相控阵雷达为搜索引导雷达,且为首区固定站雷达,不需要引导跟踪。WEIBEL 雷达接入网络使用外引导跟踪模式时,采用雷达自身的 M/S 协议。本方案采用了雷达的引导协议 2 作为引导数据的格式要求,其协议自带 CRC 数据校验。

指控中心通用协议如下:

1 Byte	BYTE	源标识
1 Byte	BYTE	性质
2 Byte	unsigned short	包长度
4 Byte	unsigned int	时间(从当日零点起)毫秒
1 Byte	BYTE	源标识 0x21~0x2F
1 Byte	BYTE	性质 0x01:
1 Byte	BYTE	坐标系 0x00:靶场坐标系;0x01:发射坐标系;0x02:测量(雷达/经纬仪)坐标系;
1 Byte	BYTE	坐标类型 0x00:极坐标;0x01:直角坐标。
1 Byte	BYTE	帧频 数据包的频率(帧/秒)
1 Byte	BYTE	目标数 该包数据中包含的目标数量
1 Byte	BYTE	工作模式 1/0:检查/工作
1 Byte	BYTE	工作状态 0:通道检查 1:引导检查 2:传送设备系统误差 3:设备故障
1 Byte	BYTE	保留
1 Byte	BYTE	引导模式 1/0:引导信息有/无
1 Byte	BYTE	跟踪状态 1/0:跟踪/丢失
1 Byte	BYTE	保留
2 Byte	unsigned short	wObjectID
8Byte	double	方位(°)
8Byte	double	俯仰(°)
8Byte	double	斜距(米)
8Byte	double	速度(米/秒)
8Byte	double	X 位置(米)
8Byte	double	Y 位置(米)
8Byte	double	Z 位置(米)
8Byte	double	X 方向速度(米/秒)
8Byte	double	Y 方向速度(米/秒)
8Byte	double	Z 方向速度(米/秒)
1 Byte	BYTE	目标:0x00:未知;0x01:靶机;0x02:导弹
1 Byte	BYTE	0x00:真实位置;0x01:外推位置
61 Byte	BYTE	bReserve[61]
2 Byte	CRC-checksum	CRC 校验位 (X-Modem protocol)

雷达引导协议如下:

4 Byte Dword Time 相对时间 (ms)

4 Byte Real X 发射坐标系下 X (m)

4 Byte Real Y 发射坐标系下 Y (m)

4 Byte Real Z 发射坐标系下 Z (m)

4 Byte Real V 相对发射点的速度 (m/s)

1 Byte Valid flag 有效标志位 (reset when data reception stops)

2 Byte CRC-checksum CRC 校验位 (X-Modem protocol).

采用此协议引导雷达跟踪时,Time 为相对时间,X、Y、Z、V 为雷达参数设置时设置的某一空间直角坐标系下的坐标位置与速度,一般将这个坐标系设置为发射坐标系,有效标志位置为 1,表示雷达工作在从动模式,当 16 位 CRC 校验正确后,雷达立即执行引导跟踪,使天线指向引导位置。

3 遥测引导雷达试验验证

下面以某导弹飞行试验时雷达测试的弹道数据与遥测

(下转第 147 页)