

一种遥测图像飞行时的标定方法研究

马莉¹, 梁宽², 刘涛¹, 王百彦¹, 王诗雯²,
项予¹, 徐昕^{3,4}

- (1. 西昌卫星发射中心, 四川 西昌 615000;
2. 上海航天电子技术研究所, 上海 201109;
3. 中国航天科技集团商业火箭有限公司, 上海 201109;
4. 南京航空航天大学, 南京 210016)

摘要:为满足高密度航天发射任务需求, 针对某型号遥测解码系统中实时遥测图像画面显示飞行时与数据中心解算的飞行时不一致的问题, 对遥测图像解码显示的流程、起飞时和飞行时的产生处理机制、误差及影响进行分析, 并对起飞时和飞行时的对齐和标定方法进行了探讨, 创新性地提出按照优先级策略接收数据中心起飞时和飞行时的方法, 并将选优后的飞行时叠加至实时遥测图像中, 通过试验验证, 该方法能够可靠、稳定的将飞行时实时叠加在遥测画面中, 确保了实时遥测图像画面飞行时与数据中心解算的飞行时精准同步。

关键词: 遥测数据; 起飞时; 飞行时; H. 264 OSD

Research on Calibration Method for Telemetry Image during Flight Time

MA Li¹, LIANG Kuan², LIU Tao¹, WANG Baiyan¹, WANG Shiwen², XIANG Yu¹, XU Xin^{3,4}

- (1. Xichang Satellite Launch Center, Xichang 615000, China;
2. Shanghai Aerospace Electronics Technology Institute, Shanghai 201109, China;
3. China Aerospace Science and Technology Commercial Launch Vehicle Group Co., Ltd., Shanghai 201109, China;
4. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: In order to meet the requirements of high-density space launch missions and solve inconsistency between the real-time telemetry image display flight time and the flight time calculated by the data center in a certain type of telemetry decoding system, this paper analyzes the decoding and display process of telemetry images, processing mechanism of takeoff and flight time, errors, and their effects, discusses alignment and calibration methods for takeoff and flight time, and innovatively proposes a takeoff and flight time method for receiving data center according to priority strategy, and superimposes the optimized flight time on the real-time telemetry image. Through experimental verification, this method can superimpose real-time flight time onto telemetry images reliably and stably, ensuring accurate synchronization between the real-time telemetry image and the flight time calculated by the data center.

Keywords: telemetry data; takeoff time; flight time; H. 264; On-Screen Display (OSD)

0 引言

近年来, 随着我国航空航天技术的飞速进步, 箭载遥测技术也取得了显著进展, 成为当前运载火箭新技术应用领域的关键部分。遥测图像是体现火箭实时飞行信息最直观、最真实的表达方式, 已引起用户的广泛关注, 如今越来越多的用户期望能够将实时遥测图像以高

速传输的方式回传至地面。相较于其他类型的遥测数据, 遥测图像在火箭飞行过程中的内容展示, 展现出显著优势。其形象直观的表现形式、丰富的细节呈现以及高密度的信息承载, 为数据分析提供了更为全面的可视化支持^[1]。对于技术人员和指挥决策人员而言, 遥测图像是判断火箭飞行姿态的有效信息之一, 是运载火箭内部情况监测、性能评估、箭体优化和故障分析的可靠判

收稿日期: 2025-03-02; 修回日期: 2025-03-31。

作者简介: 马莉(1981-), 女, 硕士, 工程师。

通讯作者: 王诗雯(1998-), 女, 硕士, 助理工程师。

引用格式: 马莉, 梁宽, 刘涛, 等. 一种遥测图像飞行时的标定方法研究[J]. 计算机测量与控制, 2025, 33(5): 322-328.

据,为运载火箭的成功发射提供有力支持^[2]。

根据火箭型号的不同,采用多种不同的方式解码遥测图像。针对某型号火箭,在遥测图像数据量大,传输信道带宽有限的情况下,为了减少传输过程中消耗的带宽资源并降低数据存储量,遥测全帧源码数据中未提供火箭实时飞行相对时(以下简称飞行时)。然而在进行数据比时,加载飞行时的遥测图像是各级指挥决策人员分析数据的重要参考依据。因此该型号遥测图像采用在后端地面遥测图像解码系统中叠加处理飞行时的方法。由于网络时延、本机 NTP 对时和起飞时刻处理的误差等原因,未经处理的飞行时与数据中心解算显示显示的飞行时会有一定的误差。为了确保实时解码遥测图像的有效性和准确性,在遥测图像解码系统输出遥测图像之前,需要对遥测图像进行飞行时标定。

1 遥测图像解码流程

遥测图像解码的信息处理流程如图1所示,其技术实现涵盖以下关键处理环节:首先箭载成像单元对关键部件实施动态图像捕获,将压缩编码后的图像数据封装为遥测数据流。该数据流与辅助测量参数通过组帧处理生成标准遥测数据帧,经数字调制与功率放大后,以微波载波形式向地面传输。地面站接收系统完成信号解调后,采用组播协议将实时遥测数据分发至解码终端,经过信道分离与解码重构处理,最终将遥测数据流转换为可实时监看的视频图像^[3-4]。

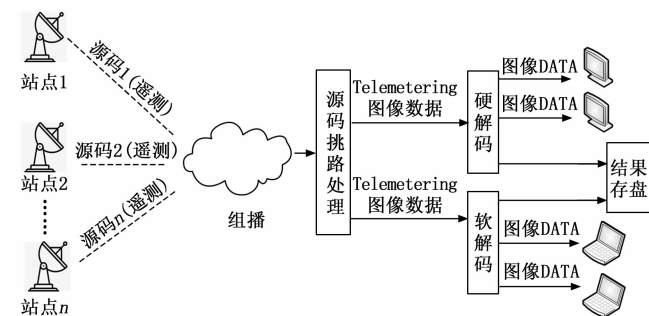


图1 遥测图像解码系统信息流程图

针对实时遥测图像数据的高速性、连续性和抗干扰需求,需选择适配的图像解码方案以兼顾传输时效性与数据完整性。本系统采用模块化架构设计,硬件平台由高算力工控机作为中央处理单元,通过 PCIE 总线与嵌入式解码模块建立高速互联通道,支持 HD/SD 双模式自适应输出。系统实施双机热冗余架构(A/B双系统),各子系统均搭载完全相同的软件配置与硬件接口,通过并行处理与故障无缝切换机制,保障解码过程的持续可靠性与图像处理稳定性^[5-6]。

本系统技术架构采用模块化设计,软件部分按功能划分为3个子模块。

1) 遥测挑源软件:负责处理多路遥测设备的数据,实现遥测数据源的筛选与整合。

2) 遥测预处理软件:对原始遥测全帧数据执行数据质量增强处理,保障数据完整度与可用性指标达标。

3) 遥测软解码软件:专用于 H.264 编码流的软件化解码运算,完成视频数据的精准重构与可视化输出。

这3个模块将遥测图像信息从遥测全帧源码中分离出来后,进行实时解码和显示,分别实现遥测挑源软件、遥测全帧数据预处理和 H.264 码流解码的核心功能,实现任务目标图像信息的实时传送。本节针对遥测图像的特点,对遥测图像的解码算法和 OSD 字幕叠加技术进行研究。

1.1 遥测图像的解码算法

在数字图像处理流程中,完成遥测目标图像的获取后必须实施编码预处理。执行数据压缩操作时,需精确协调压缩效率与视觉保真度的关系,特别需要防止高频细节信息的丢失。实验验证表明,在同等图像质量基准下,H.264 标准展现出显著的技术优势,其压缩效率较 MPEG-2 提升 200%,相比 MPEG-4 也获得 50%~100%的性能增益^[7]。这种突破性压缩技术可将视频存储需求缩减至原有水平的 1/2 至 1/3。该标准在维持视觉品质的前提下,能将传输带宽要求降低 60%以上,确保窄带网络环境下的视频流畅性^[8]。其先进的容错机制通过在数据流中植入冗余校验码,支持接收端对传输损伤进行智能修复,有效保障播放连续性^[9-10]。正是凭借卓越的压缩效率、网络兼容性及传输鲁棒性,H.264 成为视频编码领域的黄金标准。

本系统集成 H.264 编解码技术方案,在实现低比特率传输的同时维持高清画质输出。该标准的技术架构包含两大核心组件:视频编码层(VCL)与网络提取层(NAL)^[11-12]。VCL 子系统由编解码双工处理器构成,专对视频流的压缩与重构,其核心算法集包含运动矢量补偿、频域变换编码、统计熵编码等关键技术。NAL 层作为网络传输适配器,采用标准化的数据封装协议,负责对视频数据进行封装打包后在网络中传送,采用统一的数据格式,包括单个字节的包头信息、多个字节的视频数据与组帧、逻辑信道信令、定时信息、序列结束信号等。存储标志位标注参考帧属性,类型标识位定义图像帧类型(I帧/P帧/B帧)^[13]。这种分层设计实现了压缩效率、传输稳定性与网络适应性的三重优化。

H.264 解码流程如下:首先由码流解析模块将二进制数据转换为结构化信息,随后进行网络提取层解码以区分控制参数与影像数据。进入片层处理环节后,根据编码模式分为帧内预测与帧间预测两条路径。帧内预测模式下直接生成预测块 P;帧间预测则需处理 P_SKIP 宏块(无残差与运动矢量)或执行运动补偿计

算^[14-15]。在获得预测块后,系统通过残差系数解码、逆量化处理、逆 Zigzag 扫描及逆离散余弦变换重构细节数据^[16]。将反变换结果与预测数据叠加完成宏块重建,待整帧宏块重构完毕后实施去块滤波处理消除边界伪影^[17]。完成当前帧处理后更新缓冲指针,进入下一帧解码周期。解码器结构如图 2 所示。

H. 264 支持 YUV4:2:0 格式、YUV4:2:2 格式的数据输入。该系统采用 4:2:2 格式图像输入格式,使用帧内预测编码,1/4 像素运动估计,支持宏块分割,使用抗块效应滤波器等技术,从而有效地提高了编码的效率。

1.2 遥测图像的字符叠加流程

本系统采用屏幕显示技术 (OSD, on-screen display)^[18]实现飞行参数的视频叠加功能。该技术的实现原理包含 3 个核心环节:首先从字形库中调用预设字符信息,经格式转换处理生成符合视频编码规范的同步信号;其次通过时序同步机制将字符信号与原始视频流进行像素级融合;最终依托扫描行场同步脉冲的精确控制,实现叠加字符在视频画面上像素级坐标映射的精准显示。其技术特征表现如下。

- 1) 字形异构存储架构:采用双通道 RAM 构建字符存储器,实现实时读写操作;
- 2) 流媒体同步引擎:将 ASCII 字符转换为符合 ITU-R BT. 656 标准的 YUV 分量信号;
- 3) 动态叠加控制:通过 FPGA 可编程逻辑实现扫描时序与字符位置的矩阵式映射关系。

图像挑路软件首先读取配置文件中的字符信息设置,包括字幕信息、字幕坐标位置、字幕颜色等信息。在挑路、组帧的同时将摄像机安装位置、飞行时等信息插入图像数据中。如图 3 所示,当软件连续读取到数据 1 的帧尾信息和数据 2 的帧头信息时,即同时满足条件 1 和条件 2,则认为收到了两帧完整的图像帧,在其之间插入飞行时信息、字幕信息及其在图像中坐标的设置。

当 PCIE 解码卡收到 OSD 显示命令后,根据显示内

容,从字库中查找对应点阵字库,根据点阵字库取值,如果为 1 将解码图像中相应位置的图像数据替换成固定值;如果为 0 解码图像数据保持不变。根据 OSD 显示的原理,用要显示的 OSD 信息的像素颜色取值,替换解码图像对应的像素值。

叠加 OSD 的核心原理是通过滤镜系统 (Filter System) 对视频帧进行逐帧处理,动态地将文本或图像合成到视频画面中。将视频帧视为像素数据流,依次经过输入、OSD 合成、输出 3 个阶段。滤镜系统通过动态表达式和参数调整支持实时内容更新,同时严格管理时间戳和同步,确保输出视频的完整性与时效性。

以 H. 264 编解码标准中常用的分辨率为 720P 格式图像为例,解码后的图像为 1 280×720 的一个二维数组,每个图像帧显示的像素为一个数组元素。OSD 显示的每一个字符,在字库里是一个二维数组,将 OSD 字库中的二维数组,填入解码图像的对应位置,就实现了 OSD 字符在解码图像上的显示。

2 飞行时的误差分析与影响

飞行时的解算通常采用起飞时刻与北京时的差值来进行计算。起飞时刻就是飞行时间坐标的原点,是飞行时计算的基准点。遥测图像中显示的飞行时对时间信息的精度要求达到秒级即可,正确显示飞行时,对各级指挥决策员具有重要的参考价值。飞行时叠加不准确的主要原因归纳为网络时延、起飞时刻处理误差和本机 NTP 对时 3 个方面。

2.1 网络时延

遥测全帧数据包从发送端应用层产生、发送到接收端应用层提取出数据所经历的时间,该时间涵盖了数据包在发送端的处理时间、网络传输时延、网络排队时延及接收端数据处理时延。

第 n 个数据包时延计算公式为:

$$IPTD_n = T_n - T_{n-1}$$

其中: T_n 为监测端接收到第 n 个数据包时的本地时间, T_{n-1} 为监测端接收到第 $n-1$ 个数据包时的本地

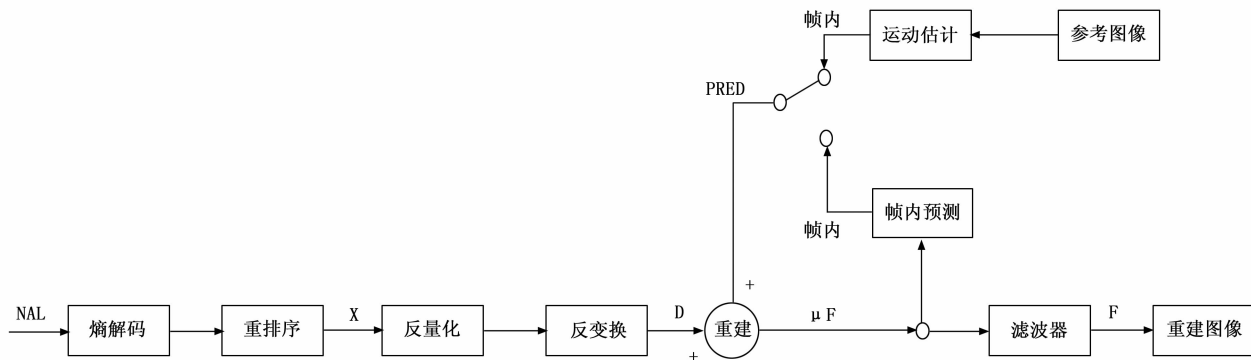


图 2 H. 264 解码器结构图

时间。

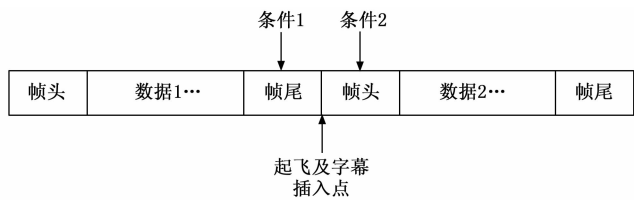


图3 字幕插入点

根据业务传输要求,计算满足传输时延小于25 ms的数据包占总接收包数量的比率,得到时延达标率;计算各包传输时延与平均试验之差的绝对值小于10 ms的数据包数量与总接收包数量的比率,得到时延变化符合率。

2.2 本机 NTP 对时

网络时间协议(NTP, network time protocol)是一种用于在基于IP协议的网络中实现客户端与服务器之间时钟同步的协议^[19]。NTP对时的误差来源主要包括以下几个方面:

- 1) 服务器本身的误差。主时钟源硬件误差涉及服务器CPU时钟发生器、主板RTC芯片、供电电路及晶振元件的相位噪声与时钟漂移率。软件层面误差包含操作系统时基调度误差、应用层时间服务偏差及驱动级时钟中断处理延时。
- 2) 网络传输误差。网络传输时延包含传输路径时延(ΔT_1)、协议栈处理时延(ΔT_2)、队列等待时延(ΔT_3)及本地处理时延(ΔT_4),符合RFC5905标准定义的网络时延模型 $\Delta T_{\text{total}} = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 + \Delta T_4$ ^[20]。网络拥塞引发的丢包率超过阈值时,将导致时钟同步收敛时间显著增加。
- 3) NTP客户端误差。客户端本地时钟精度受限于时钟电路频率稳定度,其时钟驯服算法(Clock Discipline Algorithm)的收敛性能直接影响同步精度。
- 4) 时间源误差。上游时间基准溯源性误差涉及GPS/北斗原子钟或NTP层级服务器的时钟偏差,需满足G.8272/Y.1367标准规定的PRTC(Primary Reference Time Clock)性能规范。
- 5) 外部干扰。环境扰动包含电磁干扰引发的时钟抖动、机械振动导致的晶振频率偏移以及温度变化引起的时钟温漂。

2.3 起飞时刻处理误差

遥测挑源软件和遥测预处理软件通过定时器获取飞行时的方法,若本机时间未与北京时校时,则产生的飞行时会有误差。一般来说,对于大多数视频应用场景,同步偏差的容忍范围 $\pm 50\text{ ms}$ 。由于客观原因,当 $\Delta T_{\text{MAX}} < \pm 2\text{ s}$ 时,是可接收的偏差范围。若起飞时刻收到电磁干扰等影响,遥测挑源软件未收到起飞标志信

号,将导致遥测图像画面未显示有效飞行时。此刻收到图像数据后,会在前一次处理的最后一帧图像数据的飞行时上继续累加计时,实时遥测图像上会叠加无效的飞行时。

3 飞行时处理的基本原理和方法

为了节省带宽资源,在下传的遥测全帧源码数据中,未传输火箭实时飞行的相对时。某型号遥测图像解码系统对飞行时的处理原则是按照FIFO(First-In-First-Out)机制,根据不同软件接收到的数据,采用多种方法对飞行时进行处理。

从用户的角度看,该系统飞行时信息的来源为图像挑源软件、图像挑路软件、软解码软件,其飞行时的信息处理流程如图4所示。因处理机制的不同,在实时遥测画面上显示的飞行时,会与数据中心解算的飞行时存在一定的误差。对于操作人员来说,在判断图像信息的正确性方面容易产生误差,下面分析了飞行时产生、处理机制飞行时的处理和显示流程以及飞行时的优化策略,如图4所示,并进行了试验验证。

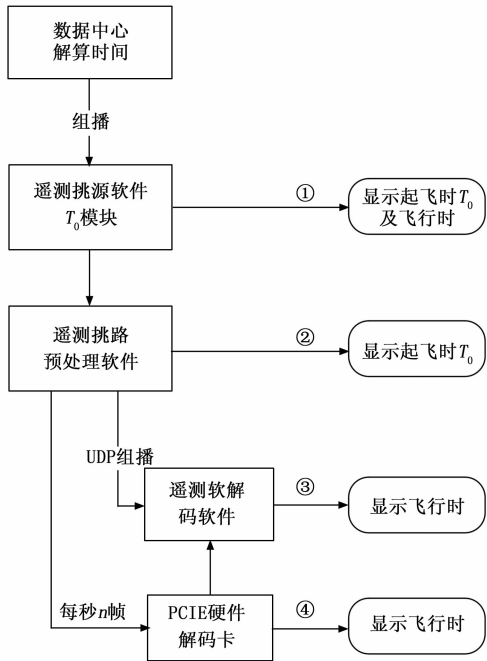


图4 图像解码系统4个飞行时的处理流程

3.1 图像挑源软件飞行时的处理方法

图像挑源软件采用指定源组播的方式实时接收各遥测设备传输的遥测全帧源码数据,包括数据中心发送的起飞时刻数据,标记为零秒。接收到起飞时刻后,1 s内解析出起飞时刻数据并向图像挑路软件转发接收到的起飞时刻。若接收到起飞时刻,图像挑源软件选取第一次收到的起飞时刻;若未收到起飞时刻,则图像挑源软件无起飞时刻信息显示,如图5所示。图像挑源软件上显示的飞行时是通过定时器获取当前本机时刻 T_1 ,两

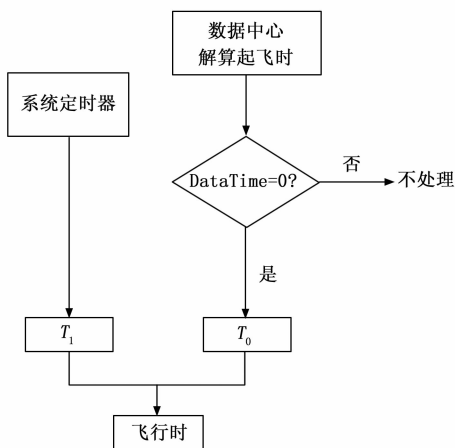


图 5 图像挑源软件飞行时的计算方法

个时间相减即得到飞行时。其中，飞行时 ΔT_0 的计算公式为：

$$\Delta T = T_1 - T_0$$

图像中叠加显示的飞行时对时间信息的要求不高，达到秒级即可。通过读取专用格式的数据包中 $\times \times$ 字节内容进行公式计算，数据长 kBYTE，得出起飞时刻的时、分、秒，具体算法如图 6 所示。

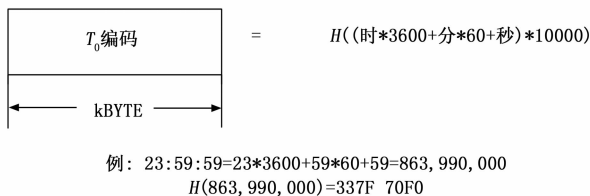


图 6 起飞时刻解析算法

3.2 图像预处理软件飞行时的处理方法

遥测图像预处理软件接收遥测图像挑源软件转发的遥测数据，根据约定波道挑出图像数据，将图像帧进行 RS 校验及子帧消扰后，完成图像码流重组。经过遥测图像预处理软件处理后，将图像数据通过 PCIE 转发给硬件解码板卡和遥测图像解码显示软件。其中，图像预处理软件解算得到的飞行时信息有 3 处来源：

1) 接收图像挑源软件转发的起飞时刻：

通过遥测图像挑源软件转发起飞时刻，经过计算得到的飞行时，要求本机对时准确，否则计算出的飞行时与实际值有误差。目前采用 NTP 对时，由于高密度航天发射任务参试型号多，设备切换频繁，若该系统未联网，或没有及时获取到 NTP 网络对时的有效信息，则计算出的飞行时误差会比较大。

2) 解析数据包中帧计数：

当图像挑源软件未向图像预处理软件转发起飞时刻时，图像预处理软件实时接收遥测全帧数据并对数据帧进行帧计数。当收到遥测全帧数据时，图像预处理软件

接收到的帧计数会初始化，并从 0 开始计数。图像预处理软件根据帧计数的变化，标记该帧计数突变的时刻为起飞时刻，并显示于图像预处理软件的“起飞时间”栏内。根据实际应用，为了提高插入起飞标志的有效性，图像预处理软件向图像帧中连续插入三帧起飞标志，确保发送成功。

3) 解析数据包中起飞时刻 flag 标志：

遥测全帧数据是一种规范的子帧数据序列，其中每个子帧结构严谨，由 N 字节的数据域、子帧帧头以及同步码三部分构成。而一个完整的遥测全帧数据是由 M 个这样的子帧以及一个全帧帧头共同组成。在全帧的帧头中，包含了诸如信源标识、信息标志、包序列号及信息处理标志 (FLAG) 等关键数据信息。帧序号以全帧为基准，每经过一个全帧便递增一次，直至达到计数上限后归零，重新开始计数。而在子帧的帧头中，则包含了子帧序号 (NO)，子帧序号从零起始，随着每个子帧的递进逐一增加，直至全帧终结时序号归零。每当新的全帧启动之际，子帧序号亦随之重新计数。在遥测全帧数据中，专用格式的数据包中预留起飞信号标志位，若 FLAG=1 且连续收到 50 次，则作为判断收到起飞时刻判据。

3.3 遥测软解码软件飞行时的处理方法

该软件系统实时接收来自遥测预处理软件传输的图像数据流。首先，通过交织 RS 编码技术对数据进行纠错处理，随后进行数据重组，恢复为标准数据结构。接着，利用 H.264 动态库对压缩的图像数据进行实时解码，最终还原出原始的真实图像。

当实时接收图像预处理软件发送的图像数据后，存入网络数据队列中，将网络数据队列中的数据放入缓存中。当缓存中有一个完整的图像数据帧，按帧头信息将数据分发到各个解码器的播放列表中，启动定时器，定时读取播放列表中的数据发送至解码器进行解码显示。遥测解码一体机内嵌 PCIE 解码卡，该板卡内置晶振，当断电重启后，计数器归 0。因此，在一开机后，软解码软件上显示的飞行时为一体机开机后的累加计时。综上所述，遥测图像挑路预处理软件按照先入先出的原则，对接收到的起飞时刻数据进行解算，并插入至图像数据中。根据上述 3 种飞行时的产生机理，图像预处理软件处理起飞时刻信息的流程如图 7 所示。

4 飞行时的优化策略及试验结果分析

遥测图像最终需要以视频的形式在终端上显示。为了满足图像信息的实时传输需求，根据遥测图像的传输特点，针对系统的信息处理流程，我们在飞行时标定方法的基础上，进一步改进了飞行时的处理流程，采用了基于优先级的策略来接收数据中心的起飞时和飞行时信

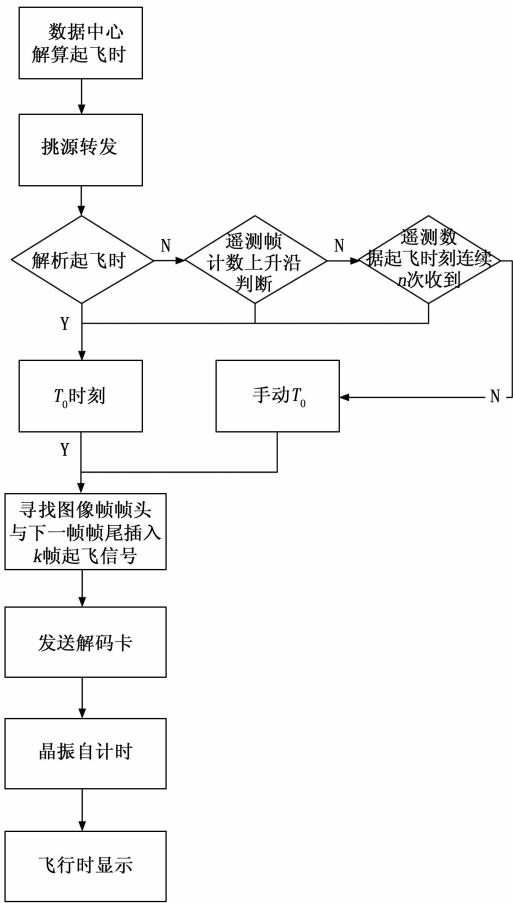


图 7 遥测图像挑路软件 TO 处理流程图

息,提高了飞行时解算处理的准确性和稳定性。具体而言,在飞行时常规标定方法的基础上,并优先解算数据中心发送的飞行时数据。当接收到的时间信息不变或小于当前显示的飞行时时,系统将不进行刷新;当接收到的时间信息大于当前显示的飞行时时,系统将立即更新飞行时信息。同时,图像解码机负责计时并显示起飞时间,确保飞行时信息的准确性和实时性。

4.1 优化策略

优先级接收策略:系统优先处理数据中心发送的飞行时信息,确保飞行时数据的实时性和准确性。

时间信息更新机制:通过比较接收到的飞行时信息与当前显示的飞行时,动态决定是否更新显示内容,避免不必要的刷新操作。

图像解码机计时功能:图像解码机独立计时并显示起飞时间,确保飞行时信息的连续性和一致性。

4.2 验证与数据对比

通过某次接收火箭实时飞行数据的实际应用,以数据中心解算的飞行时为参考标准,验证了优化后的飞行时叠加信息流程的有效性。

采用对照试验的方式,对优化前和优化后的飞行时进行了 6 次试验,如表 1 所示,对比优化前后的均值、

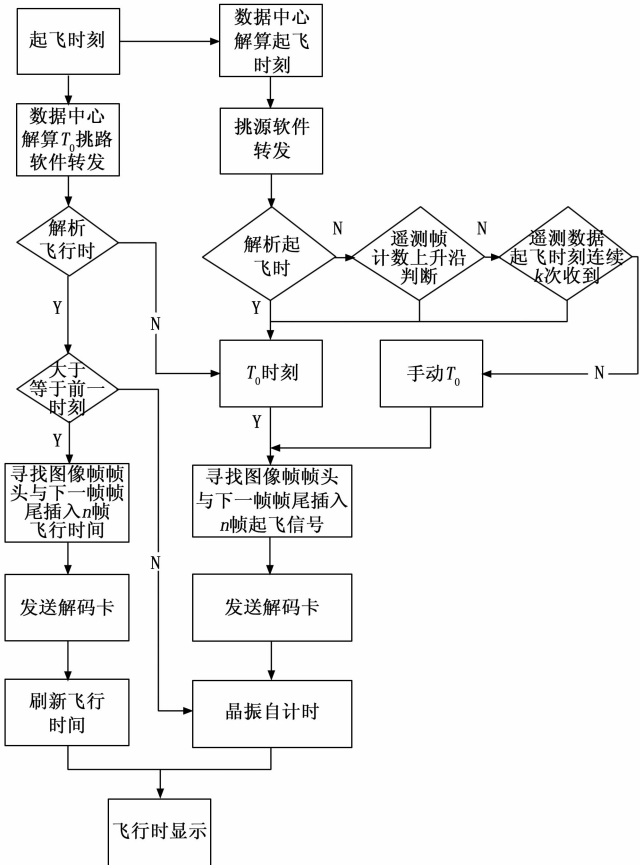


图 8 优化后的飞行时叠加信息流程

方差以及标准差,能够清晰的展现出优化前后的差异。

表 1 优化前后飞行时误差数据对比

试验结果	优化前飞行时误差数据	优化后飞行时误差数据
第 1 次	3.7	0
第 2 次	2.8	0
第 3 次	4.3	0.9
第 4 次	3.9	0
第 5 次	2.6	0
第 6 次	1.4	0.5

实验结果表明,采用实时更新飞行时的方法能够有效解决飞行时与数据中心解算显示的飞行时不一致的问题,确保了遥测图像显示的飞行时与数据中心解算显示的飞行时完全一致。具体对试验数据分析的统计指标见表 2 所示。

表 2 优化前后统计结果分析

统计指标	优化前飞行时误差数据	优化后飞行时误差数据
均值	3.11	0.23
方差	0.899 7	0.122 2
标准差	0.948 6	0.349 6

未优化前:飞行时误差均值为 3.11 秒,导致遥测图像显示的飞行时与数据中心解算的飞行时存在明显偏

差,影响了实时性和准确性。

优化后:飞行时误差均值降低至 0.23 秒,显著提升了遥测图像显示的精度和实时性。

4.3 优化效果

精度提升:飞行时误差的精度提高 70% 以上,显著提高了遥测图像显示的准确性。

实时性增强:通过优先级接收和动态更新机制,确保了飞行时信息的实时更新,满足了高实时性需求。

复杂度降低:通过直接解算数据中心发送的飞行时,优化了处理和判断起飞时的算法,降低了在本地解算飞行时的复杂度。

应用价值:该方法不仅丰富了航天发射任务遥测图像的实时传输精度,还为跟踪测量、指挥决策等任务提供了可靠的数据支持。

通过上述优化策略的实施和验证,系统在飞行时信息的处理上实现了显著的性能提升,为航天发射任务的遥测图像显示提供了更加精准和实时的技术支持。

5 结束语

在进行数据比对时,加载飞行时的遥测图像对各级指挥员分析数据而言具有重要参考依据。本文针对遥测图像的特点,提出的按照优先级策略显示飞行时的方法,通过对网络时延、本机 NTP 对时和起飞时刻处理误差 3 个误差原因的机理的研究,构建了基于优先级策略显示飞行时方法,该方法优化了飞行时叠加的算法,精度控制在毫秒级以内,实现了与基准时间同步显示飞行时的功能。经过多次航天发射任务的验证,时效性满足任务图像分析使用要求,确保了遥测图像画面中的飞行时与数据中心解算显示飞行时同步,提升了遥测图像作为运载火箭内部情况监测、性能评估、箭体优化和故障分析的时效性和准确性,为试验任务中的实时指挥决策提供了重要的技术支持。

参考文献:

- [1] 李艳华,李凉海,谌明,等.现代航天遥测技术[M].北京:中国宇航出版社,2018.
- [2] 李亚,多遥测图像数据流的自动拼接与自动优选技术[J].电子技术与软件工程,2018(9):153
- [3] 张彪,宋红军,刘霖,等.基于 PCIe 接口的高速数据传输系统设计[J].电子测量技术,2015,38(10):113-117
- [4] 叶伟,符广平,周安.基于多 DSP+FPGA 图像实时解码系统的设计与实现[J].计算机与数字工程,2015(11):2017-2019.
- [5] 潘晓明,刘伟,袁承宗,等.基于 PDXP 协议的运载火箭可视化遥测解码系统[J].上海航天(中英文),2020,37(s2):153-158
- [6] 刘志刚.基于 FPGA 的 H.264 编码器的硬件的实现[D].西安:西安电子科技大学,2009.
- [7] 马军,王红亮.基于 FPGA 的 H.264 码流实时传输系统设计[J].计算机测量与控制,2021,29(5):225-229.
- [8] 施众.基于 FPGA 的 DVI 数据存储与图像处理系统[J].长春大学学报,2016,26(8):1-8.
- [9] 周鑫,王安迪,陆壮志,等.基于航天视频监测的 H265 编码系统设计[J].军民两用技术与产品,2018,(17):53-56.
- [10] ADIBELLI Y, PARLAK M, HAMZAOGLU I. Pixel similarity based computation and power reduction technique for H.264 intra prediction[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2010, 56(2): 1079-1087
- [11] JIAO S, LUAN L, H QU, et al. Improvement of fast intra prediction mode selection algorithm for H264[C] // 2019 IEEE 19th International Conference on Communication Technology (ICCT). IEEE, 2019: 510
- [12] FUENTES-ALVENTOSA A, J G6MEZ-LUNE, JM GONZÁLEZ-LINARES, et al. CAVLCU: an efficient GPU-based implementation of CAVLC[J]. The Journal of Supercomputing, 2022: 1-35
- [13] 陈亚当.基于 H.264 编码的监控视频高效压缩方案的实现与研究[D].南京:南京邮电大学,2011
- [14] ZHU H J, FAN H H, SHU Z Q, et al. Optimal mode decision method for interframe prediction in H.264/AVC[J]. Computers, Materials & Continua, 2020, 65(3): 2425-2439. DOI: 10.32604/cmc.2020.011841.
- [15] KE N, YANG X, ZHANG Y. A novel video reversible data hiding algorithm using motion vector for H.264/AVC[J]. Tsinghua Science & Technology, 2017, 22(5): 489-498.
- [16] SONG S, QI H. A pipelining hardware implementation of H.264 based on FPGA[C] // International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation. IEEE, 2010: 299-302.
- [17] ZHANG Y, ZHANG M. Video steganographic algorithm based on intra prediction modification for H.264/AVC[J]. Lecture Notes in Real-Time Intelligent Systems, 2018: 145-155.
- [18] 康明星.基于 MAX7456 的 OSD 系统设计与实现[J].物联网技术,2014,4(3):52-53.
- [19] 毛瀛洲. NTP 网络授时系统设计与实现[D].济南:山东大学,2008.
- [20] UPADHYAY D, DUBEY A K, THILAGAM P S. A probabilistic model of clock offset estimator (PMCOE) for clock synchronization in wireless sensor network[J]. Wireless Personal Communications, 2019, 108(2): 995-1007.