

# 基于星型链路的飞行器高码率数据采集传输系统设计与实现

陈玉坤, 梁君, 荣刚, 曾发

(中国运载火箭技术研究院, 北京 100076)

**摘要:** 数据采集系统是飞行器遥测系统的关键组成部分, 在高码率传输情况下防止出现数据误码率偏高和遥测参数精度恶化是十分重要的研究课题; 针对采集传数据系统的多参数快速切换, 在多种网络拓扑结构分析的基础上, 设计了一种适用于飞行器上的星型链路高码率数据采集传输系统, 消除了异源晶振频率漂移积累的时间误差; 实践表明, 该系统能有效地满足航天飞行器高码率数据隔离采集、存储、传输和故障隔离的要求, 其隔离信号绝缘电阻在 100 MΩ 以上, 隔离采集精度不超过 1%, 以 7 Mbps 码率传输时在约 0.2 个采样周期内可以快速稳定到采样电压值, 实现大容量数据的高可靠采集和传输。

**关键词:** 星型; 数据采集; 数据传输; 飞行器

## Design and Application of Collection and Transmission System Based on Star Topology Links

Chen Yukun, Liang Jun, Rong Gang, Zeng Fa

(China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 100076, China)

**Abstract:** Data collection and transmission system is the key subject for aircraft telemetry system. Avoiding high bit error rate and telemetry precision deterioration is the crucial subject under high bit-rate transmission. For the multi-parameter rapid switch of collection and transmission system, a star topology links collection and transmission system suitable for aircraft is introduced on the basis of multiple network topology structures, which can eliminate time error created by different crystal oscillator. Practice indicates that the system can effectively meet the demands of isolated acquisition and transmission and fault isolation, and the signal insulation resistance is above 100 MΩ and the isolation acquisition accuracy is within 1%, acquisition voltage can be rapidly achieved within the first 0.2 acquisition period under 7Mbps transmission condition. This data collection and transmission system can satisfy the requirements of large capacity and high reliability.

**Keywords:** star; data collection; data transmission; aircraft

## 0 引言

在飞行器的研制和试飞阶段, 耗资巨大, 每次试验必须尽可能多地获取飞行器内部各系统的工作状态参数和环境数据, 为进行故障分析和评定飞行器的性能提供依据。目前飞行器上各设备进行数据采集时, 常依靠设备自身的高精度晶振来实现不同设备上数据同步, 在数据采集传输系统长时间工作时, 尤其是高码率传送信息时<sup>[1]</sup>, 由于晶振频率漂移积累的时间误差, 在传输过程中带来大面积码元偏置, 造成数据误码率偏高; 在对遥测参数进行特殊的隔离处理时, 会出现时间延迟大、采集精度恶化等问题。

为了解决飞行器上大容量数据采集和传输的误码率偏高和遥测参数精度恶化问题, 设计了一种基于星型链路的高码率数据采集传输系统, 实现了航天飞行器高码率数据隔离采集、存储、传输和故障隔离, 实现大容量数据的高可靠采集和传输。

## 1 网络拓扑结构分析

### 1.1 网型拓扑结构

在图 1 的网型拓扑结构中有 6 个设备, 需要 15 条传输链路。如要连的设备有  $n$  个, 所需链路将达到  $n(n-1)/2$  条, 信息传输通路多, 当某个设备出现故障<sup>[2]</sup>, 可以隔离该设备切换至其它传输链路传递信息, 信息传输链路冗余多。显然, 这种方式只有在地理范围不大、设备数量很少的条件下才能使用。

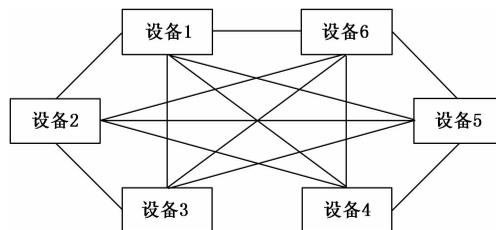


图 1 网型拓扑结构

### 1.2 星型拓扑结构

星型拓扑结构如图 2 所示, 端点之间的通信必须经过中心节点, 如要连的设备有  $n$  个, 则共需  $(n-1)$  条链路。

收稿日期: 2019-04-13; 修回日期: 2019-05-28。

作者简介: 陈玉坤(1979-), 男, 河南卫辉人, 博士, 高级工程师, 主要从事测控通信系统、数据管理系统方向的研究。

该结构有便于集中控制、易于维护和安全等优点。某端节点设备因为故障而停机时也不会影响其他节点间的通信，但中心节点必须具有极高的可靠性，因为中心节点一旦损坏，整个系统便趋于瘫痪。因此中心节点通常采用双机热备份，以提高系统的可靠性。

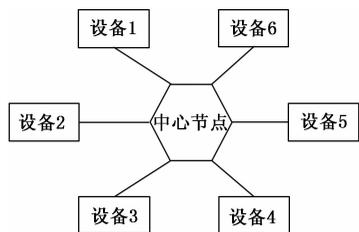


图 2 星型拓扑结构

### 1.3 环型拓扑结构

环型拓扑结构中的传输媒体从一个端节点到另一个端节点，直到将所有端节点连成环形，如图 3 所示。如要连的设备有  $n$  个，则共需  $n$  条链路。这种结构消除了端节点通信时对中心节点的依赖性，但每个节点都需要有信息转发功能。

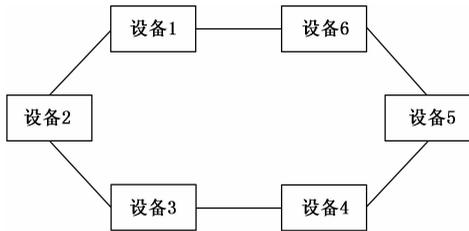


图 3 环型拓扑结构

环型拓扑结构的每个端节点都与两个相邻的端节点相连，因而存在着以单向方式操作点到点链路，便有上游端用户和下游端用户之分<sup>[3]</sup>。图 3 中若按逆时针传递信息，设备 5 是设备 6 的上游端用户，设备 6 是设备 5 的下游端用户。如果设备 6 需将数据发送到设备 5，则几乎要绕环一周才能到达，系统响应延迟大。由于各端节点共享环路，因此需要采取措施（如令牌控制）来协调控制各端节点的发送。

### 1.4 总线型拓扑结构

总线型拓扑结构如图 4 所示，必须确保端节点使用总线发送数据时不能出现冲突，主要用于分时工作的网络中。在一点到多点方式中，对线路的访问依靠控制端的探测来确定。

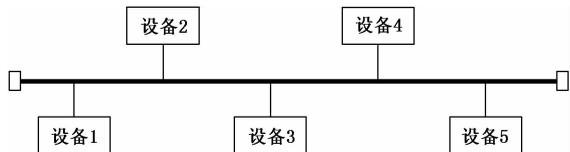


图 4 总线型拓扑结构

总线型拓扑结构费用低、数据端接入灵活、站点或某个端节点失效不影响其它站点或端节点通信，但是一次仅

能一个端节点发送数据，其它端用户必须等待到获得发送权后方可发送数据，访问获取机制较复杂。

## 2 系统总体设计

基于星型链路的飞行器高码率数据采集传输系统主要由传感器、采编单元、中央处理器等组成，系统总体组成原理框图如图 5 所示。每个传感器感应被测对象的物理参数，并将物理参量转换成电信号输出至对应的采编单元；采编单元采用一体化设计完成传感器供电、信号采集和编码，除了自身设备使用的电源模块外，采编单元内部还集成了给传感器供电的电源模块，可以输出配套传感器常用的 +5 V、±15 V 供电电压，相应的采编单元对接收到的电信号依次进行滤波、放大、A/D 转换后送至中央处理器；中央处理器根据预定逻辑对每个采编单元进行时序控制，使采编单元按照预设逻辑输出数据；同时，中央处理器同时接收多个采编单元输出的数据并集中处理，按预定格式编排在内部数据缓冲区，之后将并行信号转换为串行信号输出给调制和发射设备。

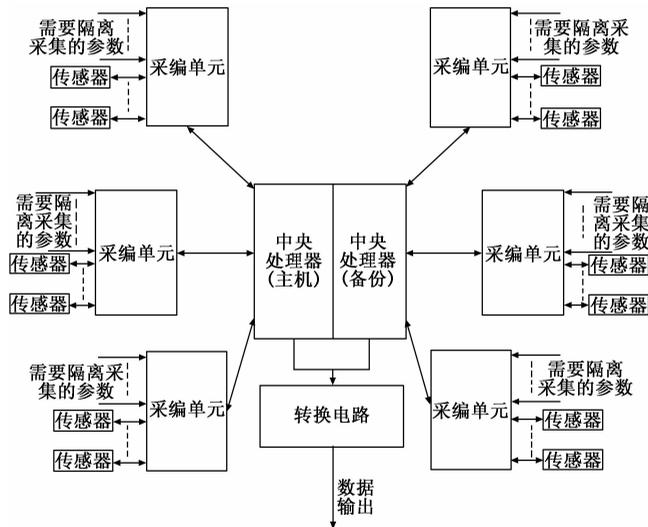


图 5 系统组成原理框图

在该数据采集和传输系统中，各采编单元之间的通信必须经过中央处理器，该结构有便于集中控制、易于维护和安全等优点，某采编单元因为故障而停机也不会影响其他采编单元间的通信，实现故障自动隔离。同时在飞行器不同研制阶段，当对遥测参数进行增加和删减时，只需要增加相应的传感器和采编单元，无需对系统进行重新设计，提高了系统的灵活性。为了确保中央处理器具有较高的可靠性，防止中央处理器出现故障导致系统瘫痪，中央处理器采用双机热备份的工作模式，即中央处理器由主份机和备份机组成，当主份机出现故障时，由遥控指令或者自主判别切换，将控制权由主份机快速转移到备份机控制，大大提高了中央处理器的工作可靠性。

## 3 系统硬件设计

### 3.1 供电与信号采集模块

采编单元的供电与信号采集模块采用一体化设计，采

编单元内部除了自身设备使用的电源模块外, 采编单元还集成了给传感器供电的电源模块, 供电与信号采集模块和传感器连接示意如图 6 所示, 两种电源模块互相独立、互不影响。通过两种电源模块的使用, 将给传感器供电的功能集成在采编单元内部, 采编单元通过设备内部电缆在同一个对外接插件上实现了对传感器的供电及信号采集接口, 降低了电缆网设计难度和重量, 简化了测控通信系统配套设备的种类和数量。

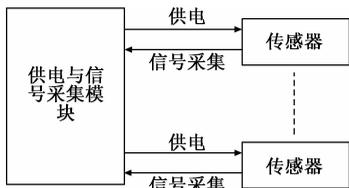


图 6 供电与信号采集模块连接示意图

给传感器供电的电源模块采用 14~40 V 宽输入的 DC/DC 直流变换器, 为各传感器提供所需的 +5 V、±15 V 电源。考虑到电磁兼容, 在电源变换器之前, 增加滤波器。其功能框图如图 7, 再经过 EMI 滤波器和 DC/DC 转换器转换为 +5 V、±15 V 电压送至到各传感器。

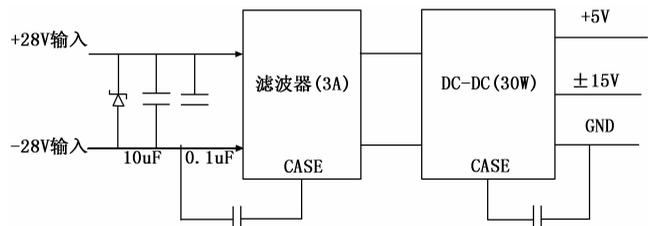


图 7 电源模块原理框图

### 3.2 隔离采集模块

采编单元的隔离采集模块由第一级放大器、第二级放大器、光电耦合器、第三级放大器、多路切换开关、第四级放大器、A/D 变换器组成, 如图 8 所示, 需要采集的信号依次经过第一级放大器、第二级放大器、光电耦合器、第三级放大器、多路切换开关、第四级放大器实现信号的阻抗匹配和隔离采集, 在进行完信号预处理之后<sup>[4]</sup>, 可以保证进行 A/D 变换时信号的低阻抗状态, 便于后端 AD 芯片进行信号采集, 实现了信号隔离采集, 同时消除了波道切换之间的路际干扰。

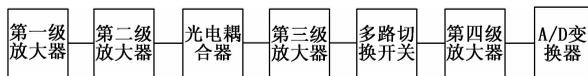


图 8 隔离采集组成框图

具体隔离采集电路如图 9 所示, 放大滤波电路由四级放大滤波器组成, 第一放大器 231 与电阻 R1、R2 共同构成第一级放大滤波器, 第二放大器 232 与电阻 R3~R5 构成第二级放大滤波器, 第三放大器 234 与电阻 R6 构成第三级放大滤波器, 第四放大器 236 与电阻 R7 构成第四级放大滤波器。实际电路设计中, 第一级放大滤波器的电阻 R1 可分别

取不同阻值, 阻值范围在 0 Ω~3 kΩ 之间。当 R1 取值为 0 Ω 时, 可实现电压跟随器功能, 输入电阻高、输出电阻低、输出与输入同相位, 实现阻抗变换功能。同时根据 R1 取值不同, 使得放大滤波器带宽不同, 可以滤除信号中不同频率范围的噪声<sup>[5]</sup>。第三级放大滤波器的电阻 R6、第四级放大滤波器的电阻 R7 与第一级放大滤波器的电阻 R1 的取值和原理相同。多级放大滤波器组合在一起, 可以对信号进行逐级放大和多个频率段噪声的滤波。

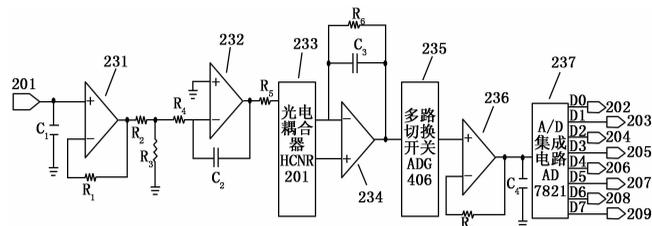


图 9 隔离采集电路图

第二放大器 232 为反相输入, 其输出信号与输入信号反相, 输出阻抗低, 可以提高信号的驱动能力, 以便有足够能力驱动光电耦合器。光电耦合器对有隔离要求的信号变换参考电位, 使光电耦合器的输入端与输出端具有不同的参考电位, 电容 C1~电容 C4 为滤波电容, 作用是消除信号中的高频波动信号和干扰, 避免对后端信号造成影响。

### 3.3 非隔离采集模块

采编单元的非隔离采集电路包括多路切换开关、放大器<sup>[6]</sup>、A/D 集成电路、电阻 R31、电容 C31, 如图 10 所示; 不需要隔离采集的信号输入端与多路切换开关输入端相连, 多路切换开关的输出端与放大器的正向输入端相连; 放大器的负向输入端通过电阻 R31 与其输出端相连; 放大器的输出端与 A/D 集成电路的输入端相连, 放大器的输出端还通过电容 C31 接地; A/D 集成电路的输出端在采编单元内部经过 GM8164 芯片进行并串转换之后输出。

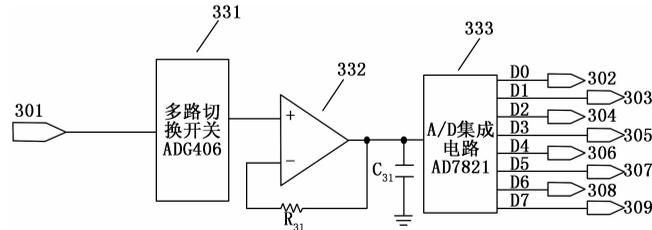


图 10 非隔离采集电路图

多路切换开关采用 Analog Devices 公司的 ADG406, 开关反应典型时间 120 ns, 可以适应高码率数据采集过程中对遥测参数的高频率波道切换。A/D 集成电路采用 Analog Devices 公司的 AD7821, 将输入的信号进行采样和 A/D 转换<sup>[7]</sup>, 输出并行 8bit 数据送数据总线。

## 4 系统软件设计

数据采集传输系统的中央处理器、采编单元在单周期内工作流程如图 11 所示, 系统上电工作后, 中央处理器的

默认主机和备份机首先进行状态自检，将自身的状态信息送双机转换和切权电路进行判断，确定当权的中央处理器。进入工作状态后，在每个周期工作的起始，当权的中央处理器输出自身的数据同步、时钟信号给多个采编单元，采编单元在数据同步、时钟信号的驱动下按时序控制依次输出采集后的数据给当权的中央处理器。当权的中央处理器在进行多个采编者数据编排和汇总前，再次对自身状态进行检查，若工作正常，则输出本周期内汇总的数据，同时准备下一个采样周期时钟信号；若工作状态异常，则舍弃本周期内汇总的数据，同时跳转至默认主机和备份机的自检流程。

据等内容<sup>[9]</sup>。以某飞行器遥测参数为例，需要传输的遥测参数如表 1 所示。

根据表 1 统计的遥测参数数据容量达到了 7 Mbps，试验结果如下：

1) 对有隔离要求的 30 路电压信号进行隔离采集，经测试，信号绝缘电阻在 100 MΩ 以上，采集精度不超过 1%；

2) 承担中心节点的中央处理器采用双机热备份的工作模式，在故障注入的情况下，当主份机出现故障时，经自主判别和切换，可将控制权由主份机快速转移到备份机，实现数据采集系统传输系统的高可靠；

表 1 某飞行器遥测参数统计

序号	参数名称	数量	采样率/ Hz	数据率 bps/路	备注
1	压力	15	40	320	
2	过载	3	200	1600	
3	低频振动	60	320	2560	
4	高频振动	90	8000	64000	
5	温度	14	40	320	
6	图像	2	500000	500000	
7	电压信号	30	40	320	有隔离要求
8	外系统数字量	5	/	115200	
9	1553B 数据	1	/	500000	

3) 在 7 Mbps 的高码率传输情况下，初始电压泄放波形如图 12 所示。从图 12 中可以看出，通过阻抗变换，在初始电压为 3 V 的情况下，切换到下一个采集通道后，在约 0.2 个采样周期内可以快速稳定到采样电压值。初始状态的高电压可以快速泄放，不会影响采集电路的抽样和量化，避免了对采集电路产生路际串扰影响。

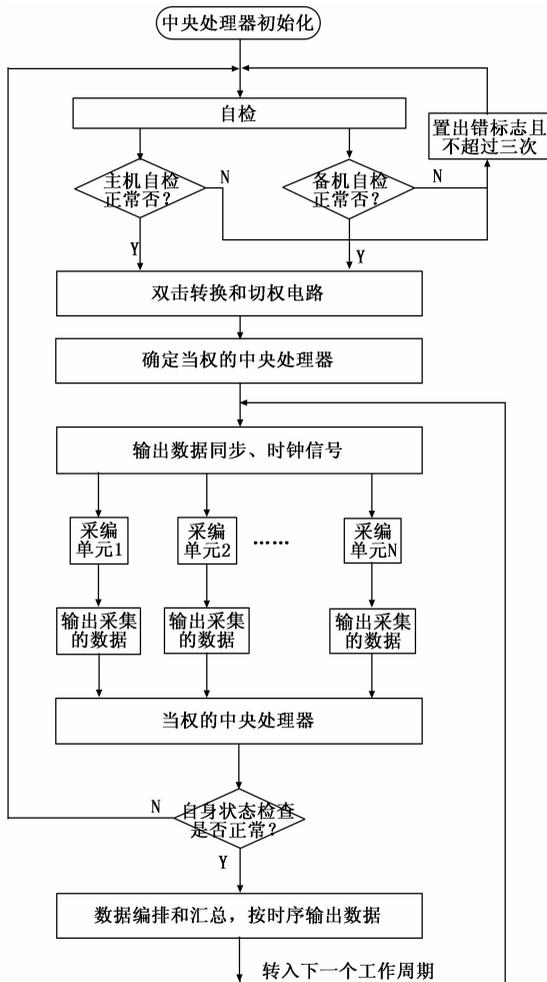


图 11 单周期内数据采集传输系统工作流程图

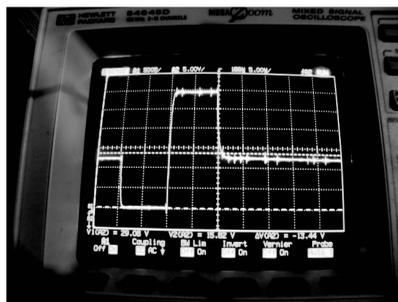


图 12 采集通道初始电压泄放波形图

### 5 实验结果与分析

依据抽样定理<sup>[8]</sup>，为了防止频谱混叠，对于某个模拟量的采样，奈奎斯特抽样速率规定最小值为信号最高频率  $f_H$  的 2 倍，不但需要考虑不失真的恢复遥测信号，还需要尽量降低码率。综合考虑设备实际性能，按照 3~4 倍的信号变化频率来对模拟量进行抽样。

数据采集传输系统除了需要采集的多路模拟量之外，还需要传输图像数据、其它系统的数字量数据、1553 B 数

### 6 结束语

本文针对数据采集传输系统的多参数快速切换、误码率偏高和遥测参数精度恶化问题，在多种网络拓扑结构分析的基础上，设计了一种适用于飞行器上的星型链路高码率数据采集传输系统，消除了异源晶振频率漂移积累的时间误差。实践表明，该系统能有效地满足航天飞行器高码率数据隔离采集、存储、传输和故障隔离的要求，对飞行器上遥测参数的高可靠采集传输具有较好的工程参考意义。

(下转第 179 页)