

存储器子系统高速数传长线链路设计建模与应用

李 霄^{1,2}, 赵 良², 张伯炜², 张 晋², 张志龙²

(1. 国防科学技术大学 航天与材料工程学院, 长沙 410073; 2. 空间物理重点实验室, 北京 100076)

摘要: 存储器子系统是获取飞行器飞行试验数据的一种途径, 射前检测是飞行器发射前对其进行的最后一次把关, 其结果直接影响对存储器子系统状态的判断, 而存储器子系统高速数传长线链路负责射前检测数据的传输, 是影响存储器子系统状态检测结果的关键因素; 针对存储器子系统射前检测链路的设计问题, 通过引入无线链路模型分析方法, 建立了本长线链路计算模型; 围绕传输信号的特性参数进行链路设计, 取代了以往搭建实际测试链路的过程; 同时针对存储器子系统射前检测链路测试问题, 引入了射频通路测试方法, 采用了矢量网络分析仪进行链路衰减测试, 验证了链路设计结果; 按照该模型设计的系统链路余量经测试大于 5 dB。

关键词: 存储器; 子系统; 长线链路

Modeling Design and Application of High-speed Long-distance Data Transmission Route for Memory Subsystem

Li Xiao^{1,2}, Zhao Liang², Zhang Bowei², Zhang Jin², Zhang Zhilong²

(1. College of Astronautics and Materials Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;

2. Laboratory of Space Physics, Beijing 100076, China)

Abstract: Memory subsystem is designed to obtain flight test data. The result of final inspection before launch directly influences the judgment of memory subsystem state. Data is transmitted by high-speed long-distance data transmission route for memory subsystem, which makes it a key factor in state judgment. The purpose is to design data transmission route for memory subsystem with route calculation modeling and the introduction of radio frequency route modeling in cable transmission. The route calculation modeling, based on signal parameter, replaces real cable test before. The introduction of radio frequency route modeling and vector network analyzer is proven effective in route attenuation test and memory subsystem field test, which verifies the design of high-speed long-distance data transmission route for memory subsystem. Basing on the model, the system route is designed. The test result of route margin is more than 5 dB.

Key words: memory; subsystem; long-distance route

0 引言

飞行试验数据对飞行器设计以及空间研究具有重要意义, 它的成功获取往往是作为飞行器飞行成功的重要标志。以往飞行器通常采用无线通信的方式, 但该方式传输的数据量有限, 且传输链路容易受到干扰, 造成数据丢失。为确保获取数据, 存储器回收飞行数据的方式被越来越多的应用, 因此存储器子系统能否可靠工作至关重要^[1]。存储器子系统射前检测是飞行器发射前对其进行的最后一次把关, 其射前检测的结果直接影响对存储器子系统状态的判断, 判读错误严重时, 会影响飞行器发射, 甚至导致飞行试验数据获取失败, 影响飞行试验的成功^[2]。

存储器高速数传长线链路负责发射前检测数据的传输, 该链路的特点是传输数据速率高, 尤其是存储数据下传时, 码速率高达 200 Mbps; 受飞行试验场地影响, 数据传输距离远, 甚至达到了 60 m, 该链路影响数据传输的可靠性, 是影响存储器子系统状态检测结果的关键因素^[3]。以往存储器子系统链路设计时, 一般采用预先搭建存储器子系统链路进行试验摸底的方法, 周期长, 投入多, 实际应用后, 出现问题需要改进, 通常会影响到系统设计, 甚至导致系统方案出现重大反复。本文

通过高速数传长线链路设计建模, 提出了设计方法, 替代了试验摸底的方法, 实现了链路参数设计闭合。

1 长线链路组成

本文讨论的存储器子系统由飞行器上安装的设备(存储器、采编控制器)、地面测试设备(光端机、存储器综合测控台)、电缆和光缆等组成。飞行器上安装的设备完成飞行器部分参数(通常为频率较高的信号, 数据量大)的采集以及无线实时遥测数据的采集。地面测试设备完成射前存储器子系统检测(包括存储器子系统实时状态和数据监测以及存储器数据回读处理)。

存储器子系统长线链路为采编控制器→飞行器上电缆网→地面电缆网→光端机→光缆→光端机→存储器综合测控台。该链路一方面负责存储数据实时监测及存储器控制指令、状态信息的传输, 另一方面负责回读数据的传输。存储器子系统链路连接示意图(带延长缆状态)如图 1 所示。该线路由 20 m 飞行器上电缆(AB 间)、20 m 地面电缆(BC 间)、20 m 延长电缆(CD 间)、光端机及光缆(DE 间)、光端机至存储器综合测控台的 2 m 电缆(EF 间)组成。高速长线传输链路指采编控制器与光端机间 60 m 的数据传输链路。由于光端机至光端机间数据光信号传输的应用较成熟, 且只要满足光强度灵敏度要求, 就不影响数据传输, 所以光端机至光端机传输不在本文讨论范围内。

收稿日期: 2013-12-16; 修回日期: 2014-02-11。

作者简介: 李 霄(1980-), 男, 河北武强人, 硕士, 高级工程师, 主要从事飞行器测量与控制方向的研究。

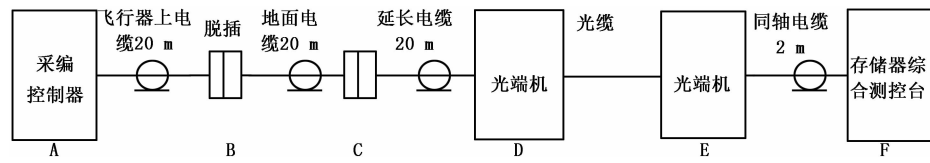


图 1 存储器子系统链路连接示意图

采编控制器与光端机之间主要是指令、状态和数据的传输, 采用了 RS422 接口和 HOTLINK 接口^[4]。RS422 接口应用广泛, 技术成熟, 能保证指令和状态的可靠传输, 传输距离可达上百米。HOTLINK 接口可提供最大 400 Mbps 的信号带宽, 可实现回读存储器数据时高速数据的传输, 接口电路示意图如图 2。

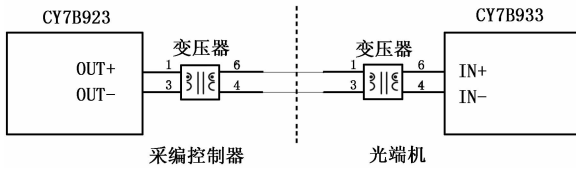


图 2 采编控制器与光端机数据传输接口电路

采编控制器与光端机间的指令和状态信号速率为 312.5 kbps, 传输速率低, 传输距离可达上百米, 可满足 60 m 传输要求。而对于数据传输, 尤其是存储数据进行下传时, 码速率实际采用 200 Mbps 进行传输, 速率高, 传输距离对信号的衰减影响较大, 是本文重点研究的部分。

2 长线链路建模

HOTLINK 输出为差分 PECL 电平^[5], 见图 3, 输出电压差 VODIF 典型值为 800 mV, 输入能接收的最小电压差 VIDIF 为 50 mV。经计算可得输出端到输入端最大衰减为 $T = 20 \lg (VODIF/VIDIF) = 20 \lg (800/50) = 24.08 \text{ dB}$, 即 HOTLINK 传输链路容许的最大衰减值为 24.08 dB。

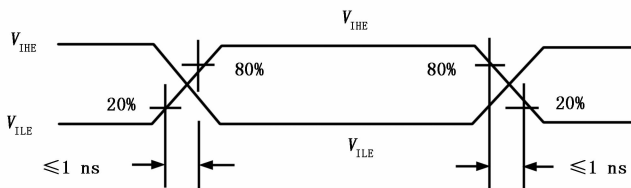


图 3 HOTLINK 信号电平特性

引入无线链路分析方法, 建立链路衰减模型如下。

$$M = T - L \tag{1}$$

式中, M 为链路余量, 考虑到系统余量, M 应不小于 5 dB, T 为链路最大允许衰减, L 为链路不同部分衰减值, 链路计算以 200 MHz 点频展开分析。

为简化分析, 本文围绕 SFF-50-1.5-1 和 SFF-50-5-1 两种同轴电缆进行讨论。

型号为 SFF-50-1.5-1 与 SFF-50-5-1 的同轴电缆, 其信号衰减特性如表 1。

表 1 SFF-50-1.5-1 衰减特性

| 频率 类型 | 30 MHz | 200 MHz | 3 000 MHz |
|--------------------|--------|---------|-----------|
| SFF-50-1.5-1(dB/m) | ≤0.19 | ≤0.50 | ≤2.0 |
| SFF-50-5-1(dB/m) | ≤0.057 | ≤0.15 | ≤0.67 |

2.1 采用 SFF-50-1.5-1 线缆情况分析

AB、BC、CD 均采用 SFF-50-1.5-1 型号同轴电缆, 按照 4 对接插件考虑, 每对接插件损耗 0.3 dB/对。

$$\text{则总损耗 } L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 \tag{2}$$

式中, L_1 为 AB 电缆的损耗, L_2 为 BC 电缆的损耗, L_3 为 CD 电缆的损耗, L_4 为链路中接插件损耗。

$$L_1 = L_2 = L_3 = 20 \text{ m} \times 0.50 \text{ dB/m} = 10 \text{ dB};$$

$$L_4 = 4 \text{ 对} \times 0.30 \text{ dB/对} = 1.20 \text{ dB};$$

则 M 为链路余量, $M = 24.08 \text{ dB} - 10 \text{ dB} - 10 \text{ dB} - 10 \text{ dB} - 1.2 \text{ dB} = -7.12 \text{ dB} < 5 \text{ dB}$ 。

因此在这种链路设计中, 选用 SFF-50-1.5-1 是不可行的。

2.2 采用 SFF-50-5-1 线缆情况分析

AB、BC、CD 均采用 SFF-50-5-1 型号同轴电缆, 按照 4 对接插件考虑, 每对接插件损耗 0.3 dB/对。

$$\text{则 } L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4;$$

其中 L_1 为 AB 电缆的损耗, L_2 为 BC 电缆的损耗, L_3 为 CD 电缆的损耗, L_4 为链路中接插件损耗。

$$L_1 = L_2 = L_3 = 20 \text{ m} \times 0.15 \text{ dB/m} = 3 \text{ dB};$$

$$L_4 = 4 \text{ 对} \times 0.30 \text{ dB/对} = 1.20 \text{ dB};$$

则 M 为链路余量, $M = 24.08 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - 1.2 \text{ dB} = 13.88 \text{ dB} > 5 \text{ dB}$ 。

因此在这种链路设计中, 选用 SFF-50-5-1 设计余量较大, 链路传输数据可靠性较大。

3 长线链路测试验证

为简化验证长线对高速数字量信号的传输特性, 以 40 m 长线均选用 SFF-50-1.5-1 为例。

根据链路衰减模型, 链路衰减计算值为 $L = 40 \text{ m} \times 0.50 \text{ dB/m} + 1.2 \text{ dB} = 21.2 \text{ dB}$, 则链路余量 $M = T - L = 24.08 \text{ dB} - 21.2 \text{ dB} = 2.88 \text{ dB}$, 可以正常接收到回读数据, 但小于系统余量 5 dB 的余量, 可靠性较差。

引入射频链路测试方法, 采用高性能矢量网络分析仪对长线衰减特性进行测试。测量设备连接示意图如图 4 所示。

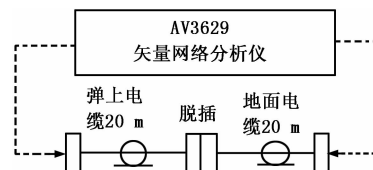


图 4 测量设备连接示意图

长线衰减测量连接图衰减特性实测结果如图 5 所示。扫频的起始频率受测量仪器限制, 45 MHz 为其最低值, 因此将扫频起始频率设为 45 MHz。考虑到高速数字信号的边沿受高次谐波影响, 因此将扫频的终止频率设为 2 GHz。从图中可以看

(下转第 1583 页)

效果也有待改进, 固体火箭发动机里各模型之间关系联系的还不够紧密, 但利用该软件, 能很方便的为固体火箭发动机的提供初步设计。最后, 该系统用到了 CATIA、VC++ 6.0 和 OpenGL 等软件, 对于学习混合编程大有裨益。

参考文献:

[1] Roys G P. User's manual for solid propulsion optimization code [Z]. Thikol, Corp, 1981.
 [2] 胡 挺, 吴立军. CATIA 二次开发技术基础 [M]. 北京: 电子工

业出版社, 2006.

[3] 彭 欢. 基于 V5 Automation 的 CATIA 二次开发技术研究 [J]. 电子机械工程, 2012, (2): 61-64.
 [4] 侯志勇. 固体火箭发动机试验数据分析处理软件设计 [J]. 计算机测量与控制, 2010, (8): 1934-1936.
 [5] 董师颜, 张兆良. 固体火箭发动机原理 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1996.
 [6] 高运奎, 李召华, 吕勤云. 基于 CATIA 二次开发的发动机喷管外形参数化设计 [J]. 机电产品开发与创新, 2012, (4): 106-107.

(上接第 1579 页)

出, 线缆对高频信号的衰减非常严重, 200 MHz 处衰减为 15.27 dB。小于 HOTLINK 传输链路容许的最大 24.08 dB 的衰减值。即 $L=15.27$ dB, $M=T-L=24.08$ dB-15.27 dB=8.81 dB, 且大于 5 dB 余量, 因而通信正常, 可靠性较高。

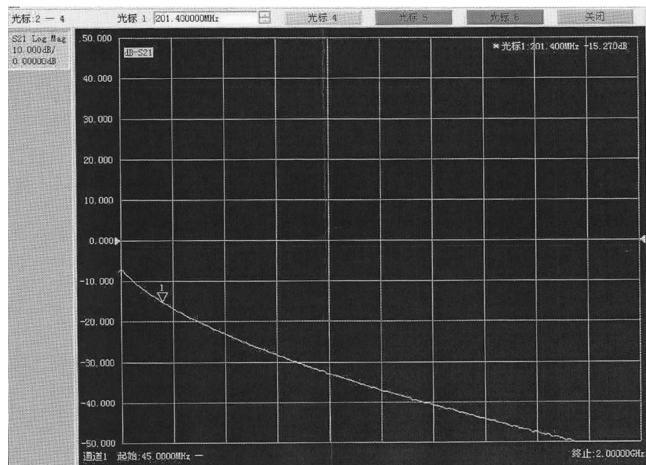


图 5 40 m 长线衰减实际测量结果

若将线缆长度调整为 60 m, 由于长线衰减为 $60 \text{ m} \times 0.50 \text{ dB/m} = 30 \text{ dB}$, 则链路余量 $M=T-L=24.08 \text{ dB}-30 \text{ dB}-1.2 \text{ dB}=-7.12 \text{ dB}$, 系统余量小于 0, 模型计算结果表明, 链路无法正常工作。通过存储器子系统进行实际测量, 发现通信异常, 测量链路衰减, 结果为 200 MHz 频点处衰减约为 25 dB, 大于 HOTLINK 传输链路容许的最大 24.08 dB 的衰减值, 从而会导致通信异常。

4 应用情况

本文提出链路计算模型及链路特性测量方式已经应用于某飞行器存储器子系统长线链路的设计。

4.1 系统长线链路计算

该存储器子系统飞行器上电缆同轴选用的是 SFF-50-1.5-1 型号, 长度为 20 m, 地面电缆选用的是 SFF-50-5-1 型号, 长度为 40 m, 存储器下载数据从采编控制器共经过 9

对接插件。

则飞行器上电缆衰减 $L_1=20 \text{ m} \times 0.5 \text{ dB/m} = 10 \text{ dB}$;

地面电缆衰减 $L_2=40 \text{ m} \times 0.15 \text{ dB/m} = 6 \text{ dB}$;

$L_4=9 \text{ 对} \times 0.30 \text{ dB/对} = 2.7 \text{ dB}$;

系统链路余量 $M=T-L=24.08 \text{ dB}-10 \text{ dB}-6 \text{ dB}-2.7 \text{ dB}=5.38 \text{ dB} > 5 \text{ dB}$, 系统链路通信正常, 可靠性较高。

4.2 系统长线链路测试

采用 AV3629 高性能矢量网络分析仪对系统长线衰减特性进行测试, 测量设备连接示意图见图 4。扫频的起始频率受测量仪器限制, 45 MHz 为其最低值, 因此将扫频起始频率设为 45 MHz。考虑到高速数字信号的边沿受高次谐波影响, 因此将扫频的终止频率设为 2 GHz。200 MHz 处衰减约为 16.08 dB。小于 HOTLINK 传输链路容许的最大 24.08 dB 的衰减值, 即 $L=16.08 \text{ dB}$, $M=T-L=24.08 \text{ dB}-16.08 \text{ dB}=8 \text{ dB}$, 且大于 5 dB 余量, 通信可靠性较高。

5 小结

介绍了存储器子系统长线链路的设计模型, 实现了链路设计指标闭合, 通过引入射频通路测试方法, 即采用了矢量网络分析仪进行链路衰减测试, 验证了链路设计结果。本文提出的完成链路的设计方法, 取代了以往搭建实际测试链路的过程, 节省了经费及设计周期, 可广泛应用于高速数据长线传输的链路设计。

参考文献:

[1] 翟亚东. 基于 CF 卡的飞行试验数据记录器的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2006, 14 (10): 1384-1385.
 [2] 王立恒. 遥测设备通用测试台中长线传输模块的设计与实现 [D]. 太原: 中北大学, 2009.
 [3] 王瑞张. 高速信号的长线传输 [J]. 仪表技术与传感器, 2010, (6): 51-53.
 [4] 闫富景. HOTLINK 串行信号的一种长线传输电路设计 [J]. 微计算机信息, 2007, 23 (8): 273-275.
 [5] 鄢若韞. 数据传输系统中 PECL 电平的接口设计 [J]. 微计算机应用, 2008, 29 (8): 109-112.