小型遥测系统的容量和信道设计

李三中 李先亮 张其善
(北京航空航天大学 电子工程系)

摘 要 论述了某型号无人机遥测系统中的容量和信道设计问题. 文中对该遥测系统的组成和原理进行了介绍. 结合具体的遥测任务需求, 在容量设计中确定了数据传输率和使用的帧格式, 在信道设计中, 通过计算实际信道中的误码率, 提出了相应的信道编码方案以确保数据传输的低误码率要求.

关键词 遥测装置; 信息率; 信道
分类号 V 556. 1

1 任务需求

本文研究的遥测系统是为了满足某型号无人机的飞行测试需求而设计的. 它的数据特点是码率低, 数据量小, 但是要求极高的数据传输质量, 并且对遥测数据的保密性提出了较高的要求. 其主要技术指标有:

1) 遥测体制: PCM / FSK.

2) 遥测下行频率: *S* 波段.

3) 遥测发射机功率: 功率可控, 最大不超过 3 W.

4) 遥测作用距离: 高度 3 000 m 时, 为 70 km.

5) 遥测通道容量: 最大 64 路.

6) 误码率要求: 小于 10^{-8}.

7) 数据加密方式: 采用伪随机码加密.

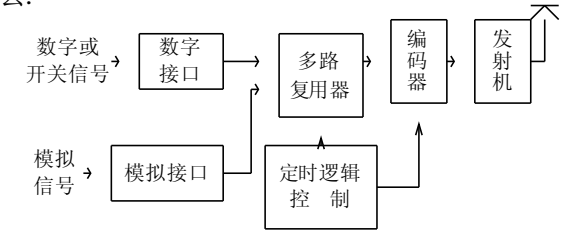
根据上述要求, 本文先给出系统的总体组成, 然后将从系统的容量设计和信道设计两方面来进行具体的分析.

2 系统的组成和原理

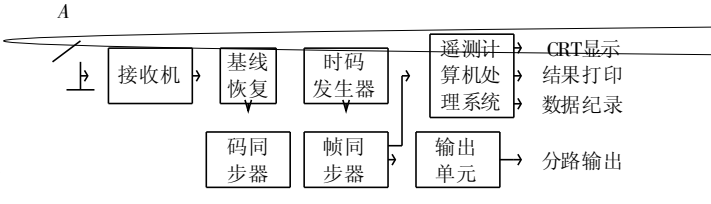
遥测系统的总体组成原理如图 1 所示, 它由机上数据采集系统和地面遥测站两部分组成. 它的主要工作原理如下.

机上数据采集系统在定时逻辑的统一控制之下, 先由多路复用器通过数字接口和模拟接口采集所需的各种信息, 并送往编码器中进行必要的编码变换. 在此期间, 编码器将完成对数据的信源编码, 信道编码以及相应的加密处理. 从而形成最终的 PCM 数据流, 再通过发射机传送到地面.

地面站在接收到遥测信号后, 基线恢复电路对接收机解调出来的基带信号进行均衡调节以消除有害的直流分量. 之后由码同步器从数据流中提取码时钟信号, 重建数据码元以滤除原始数据流中的噪声. 然后帧同步器建立帧同步, 完成各通道信号的正确分路, 并同时进行数据的信道解码, 解密处理, 将最后恢复出来的数据和时码发生器送来的时间标签信息合成后, 提供给遥测计算机系统去完成用户所需的实时显示, 数据记录, 事后分析和各种结果打印. 另外, 某些特殊用途的数据通过帧同步器分路出来, 例如, GPS 信号, 机上射频设备工作状态信号等, 将由输出单元形成特定格式的数据块直接发送到其它相应的控制系统中去.



(a) 机上数据采集系统



(b) 地面遥测站

图 1 遥测系统的总体框图

3 系统容量设计

确定需要传输的信息容量, 是设计遥测系统

收稿日期: 1996-10-09 第一作者 男 28 岁 博士生 100083 北京

前必须明确的问题. 需传输的信息容量是指信号需要传输的二进制比特数与所需的时间之比. 遥测系统的容量是用其工作码速率来衡量的. 显然, 遥测系统容量应大于或等于被测信号需要传输的信息容量, 才能确保信息的不丢失. 对于 PCM 遥测系统来说, 其信息传输容量主要由下面 3 个因素来确定:

1) 信号测量的精度要求;

2) 被测信号的数量;

3) 被测信号的频带宽度.

上述要求在用户提供的遥测参数表中都得到体现. 根据这些要求进行系统的容量设计, 其中关键两个问题就是字长和码速率的确定.

3.1 字长与测量精度的关系

在 PCM 遥测中, 测量精度主要取决于被测数据对应的字长, 传输系统可能造成的误码, 对测量精度也有一定的影响. 在这里, 主要考虑字长的影响. 若字长为 n bit, 在均匀量化的情况下, 则对应有 2^n 个离散电平等间隔地分布在被测信号的变化范围内.

假定, 被测信号等概率分布, 则由于量化引起的相对均方误差 σ 为

$$\sigma = \frac{1}{m}$$

式中 m 为量化电平数,

$$m = 2^n - 1$$

根据遥测参数表要求, 所有被测信号的最大相对误差不超过 1%, 由上面两式, 可得

$$n \geqslant 7$$

可见, 对被测信号用 7 bit 表示就可以, 相对误差约为 0.8%, 满足精度要求. 但是考虑到实际传输系统的各种误差因素, 同时为了保留一定的设计余量, 可采用 8 bit 表示. 这时的相对误差近似为 0.4%.

3.2 码速率的确定

如果每个遥测参数的字长和采样频率已定, 那么所有测信号需要传输的信息速率, 即信息容量 C_s 可以表示为

$$C_s = \sum_{i=1}^{n} f_{si} A_i$$

式中 n ——被测参数的数量; f_{si} ——第 i 个参数的采样频率; A_i ——第 i 个参数对应的字长.

从遥测参数来看, 被测信号的最高截止频率均不超过 3 Hz. 根据遥测工程的采样要求, 采样率取为信号最高频率的 5 倍, 则采样率取 15 Hz. 由前述分析, 为了满足测量精度要求, 各被测信号字长统一为 8 bit. 按遥测通道为 64 来计算, 信息的传输速率应为

$$64 \times 8 \times 15 = 7.68\ \text{kbit/s}$$

在信道设计中将要说明, 为了降低误码率, 采用(16, 8) 分组码来进行信道编码, 这样每个遥测字的实际长度相应增加了 8 bit, 即增大了 1 倍. 这时的传输速率变为

$$7.68 \times 2 = 15.36\ \text{kbit/s}$$

实际上, 在遥测信息的传输过程中, 为了正确地识别各路数据, 还要附加上诸如帧同步头, 地址码等一些同步信息比特. 另外, 考虑到与国内相应的 FSK 发射机和接收机的可选择性问题, 最后, 将系统的工作码速率确定为 19.2 kbit/s.

3.3 帧结构的安排

根据上面的分析, 基本可确定遥测系统在数据传输中采用的帧格式如图 2 所示. 根据帧同步码长一般选取为帧长的 1%~ 5% 之间的原则, 将子帧首端的帧同步码长定为 16 bit 码型选用 IRIG 推荐的最佳 16 位码 EB90; 紧接下来的连续 6 个字 $K1$~ $K6$ 为密钥同步码(数据加密所要求的); 随后的字 $N1$~ $N64$ 是可以实际安排的遥测通道. 其中, 每个字的字长均为 16 bit, 即原始的 8 bit 数据加上 8 bit 的信道编码数据组成, 另外, 字 N1~ N64 还将通过密钥同步码来进行数据加密以确保遥测数据不致失密.

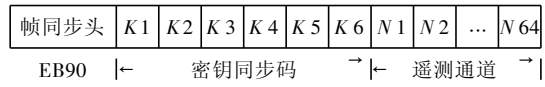


图 2 数据传输中采用的帧格式

4 信道设计

本文中的信道是指从图 1 中的发射机到地面接收机输入端之间的整个通信线路. 通信线路的性能取决于众多的线路参数. 各种不同的调制技术、编码方式、射频通信设备以及电波的传输路径等都以其自身的方式不同程度地对通信性能产生影响. 信道设计的任务就是集中所有有关的通信线路参数, 对表征通信性能的信噪比进行估算, 进而计算出整个系统的数据传输指标 ——主要指误码率. 为了满足既定的数据传输指标, 就必须在考虑实际因素的前提下, 在通信线路参数之间进行适当折衷考虑, 以期实现整体上的技术指标要求.

4.1 射频设备的选取

遥测技术指标决定了发射机和接收机必须采

用FSK 调制方式, 且发射机功率不得超过 3 W. 但是对于 FSK 调制来说, 存在着相干解调和非相干解调两种解调方式, 前者比后者的抗噪声性能要好. 但是, 在通常情况下, 为了得到相同的误码率, 相干解调最多能够得到 1 dB 的功率节余. 由于非相干解调方式无需提取相干载波, 设备简单, 成本低, 易于实现, 目前在遥测系统中得到了广泛的应用. 因此, 选用了国内某研究所研制的一对 FSK 调制, 非相干解调的收、发机, 发射机功率为 3 W.

考虑到无人机载荷量的限制, 机上天线采用简单的全向天线, 以保证当无人机的飞行姿态变化时, 地面接收到的信号不会突然衰落很大以致影响对遥测信号的接收. 但一般来说, 这种天线的方向性并不是均匀的, 其天线增益的标准值在 - 4 ~ - 6 dB 之间. 机上选用的是右旋圆极化全向天线. 由于无人机的飞行运动导致其位置不断变动, 地面遥测站必须采用跟踪天线为直径 1 m 左右的抛物面天线, 在 S 波段工作时, 天线增益可达 21 dB.

4.2　误码率估算

首先根据各线路参数, 利用通信方程来计算地面接收机输入端的信噪比. 对标准的通信方程, 严格计算起来, 约有 20 多个参数, 计算复杂, 极不方便. 考虑到本系统的实际情况, 采用如下的通信方程表达式:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{\mathrm{dB}} = 10\lg P_{\mathrm{t}} + 10\lg G_{\mathrm{t}} - 20\lg\frac{4\pi D}{\lambda} + 10\lg G_{\mathrm{r}} - 10\lg L_{\Sigma} - S_{\mathrm{f}} - 10\lg KT_{\mathrm{r}}$$

其中 $\left(\frac{C}{N}\right)_{\mathrm{dB}}$ 示为接收机输入端的信号功率和噪声谱密度之比; $10\lg P_{\mathrm{t}}$ ——遥测发射机的发射功率, 按 3 W 计算折合 4.8 dBW; $10\lg G_{\mathrm{t}}$ ——机上的天线增益, 取为 - 6 dB; $-20\lg\frac{4\pi D}{\lambda}$ ——下行信道的自由空间传播损耗(D 为距离, λ 为波长), 为确保距离的安全性, 取 D = 100 km, 而 λ = 0.13 m, 故传播损耗近似为 140 dB; $10\lg G_{\mathrm{r}}$ ——地面的天线增益, 为 21 dB; $10\lg L_{\Sigma}$ ——下行信道上诸如天线馈线损耗, 极化损耗, 天线指向损耗, 双工器损耗等各种损耗总和, 大约有 22 dB; S_{f} ——安全系数(功率裕量), 一般取 3 dB; $10\lg KT_{\mathrm{r}}$ ——接收系统的等效噪声谱密度(K 为波尔茨曼常数, T_{r} 为接收系统的等效噪声温度, 约 300 K), 算得其值为 - 203 dBW.

因此可得

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{\mathrm{dB}} = 57.8\ \mathrm{dB}$$

地面遥测接收机采用 FSK 非相干解调, 则数据的误码率 P_{e} 由下式决定:

$$P_{\mathrm{e}} = \frac{1}{2}\mathrm{e}^{-\varepsilon/2}$$

其中 $\varepsilon = \frac{E_{\mathrm{b}}}{2N}$, 为接收机输入端的码元平均能量与 2 倍噪声谱密度之比.

由于 $E_{\mathrm{b}} = \frac{c}{R_{\mathrm{b}}}$, 这里 R_{b} 为码速率, 其值为 19.2 kbit/s, 故

$$10\lg\varepsilon_{数据} = \left(\frac{C}{N}\right)_{\mathrm{dB}} + 10\lg\frac{1}{2R_{\mathrm{b}}} = 12\ \mathrm{dB}$$

于是可计算出

$$P_{\mathrm{e}} = 1.85\times10^{-4}$$

显然, 这与指标要求的误码率 10^{-8} 相差很远, 故必须采取措施降低误码率. 由于通信系统的硬件设备都是是选自国内已有的现成设备, 性能基本上无法改变. 所以, 可以采取的也是最有效的办法就是利用信道编码技术来实现误码率的降低, 以满足传输指标要求.

4.3　信道编码

考虑到数据编码的简单易行性, 采用线性分组码来对原始数据进行信道编码. 对于无记忆的二进制对称信道, 当采用具有纠错能力 t 的(n, k)分组码时, 接收端对码字的正确译码概率 P_{w} 为

$$P_{\mathrm{w}} = \sum_{i=0}^{t} C_n^i P_{\mathrm{e}}^i (1 - P_{\mathrm{e}})^{n-i}$$

其中 n 为码字长, k 是信息字长, P_{e} 为原始信道的误码率.

而此时的数据传输的等效误码率 P 与 P_{w} 的关系可认为

$$(1 - P)^n = P_{\mathrm{w}}$$

接下来的问题就是该采用纠错能力 t 多大的(n, k) 分组码, 才能使 P 达到 10^{-8}. 先考虑 t 为 1 的(12, 8) 码, 利用上面两式, 可解得

$$P = 1.9\times10^{-7}$$

与 10^{-8} 相比还差一个数量级, 说明需要增加纠错能力. 如果采用 t 为 2 的(16, 8) 码, 则有

$$P = 2.3\times10^{-10}$$

可见, 在采用能纠 2 个错误的(16, 8) 码后, 数据的传输误码率将大大低于原技术指标要求的 10^{-8}, 并保留有相当的余量. 这样, 遥测数据传输的可靠性得到了保证.

5 结束语

目前,原始样机系统已经初步研制完成,经过近一年多的测试,初步的实验结果表明,整个遥测系统运转正常,满足飞行测试需求,剩下的主要工作是进行系统的工程化处理以确保将来整个系统实际运行的高可靠性.

参考文献

1 Strock O J. 新一代计算机遥测系统. 齐连普译. 北京: 航空工业出版社, 1991
2 张鸣瑞, 邹世开. 编码理论. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1988
3 欧阳长月. 遥测遥控原理. 北京: 电子工业出版社, 1984

Capacity and Channel Design of Small Telemetry System

Li Sanzhong Li Xianliang Zhang Qishan
(Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Dept. of Electronic Engineering)

Abstract Some problems about overall design of a small unmanned air vehicle telemetry system are presented in this paper. The construction and fundamental principle of the telemetry system is simply introduced. According to the telemetry task requirement, the key problems which should be solved at first are demonstrated mainly by system's capacity design and channel design. The needed data transmission rate is carefully calculated with the telemetry parameter table provided by user and on this basis the frame structure is decided. The bit error rate in factual telemetry channel is grossly estimated in theory and a channel encoding scheme is provided to improve data transmission quality to meet with the requirement for extremely low bit error rate.

Key words telemetry equipment; channel capacity; channels

人民大会堂新的集成会议系统为“两会”顺利召开提供技术保障

在举世瞩目的九届全国人大和九届全国政协一次会议上,我校熊璋教授负责的课题组为人民大会堂万人大礼堂研制的新的集成会议系统全面启用,从技术上保证了“两会”的顺利进行。此前,该系统为中共十五大提供了良好的技术服务。

我校熊璋教授的课题组研制的人民大会堂新的集成会议系统全部功能包括:代表(委员)报到、会议进程显示、表决、票数统计等。党和国家领导人以及有关领导部门对该系统和我校驻“两会”技术保障人员的工作表示十分满意,并给予高度评价。

摘自《北航信息》第 **54** 期(**1998** 年 **3** 月 **31** 日)