

# 天线增益及地球站G/T 值测试的比较法

傅 才

(西南电子电信技术研究所 成都 610041)

**摘要** 某些情况下,由于天线的机动性受限,不能应用常规的测试方法测试其G/T值,针对这种情况,本文提出并论证了使用卫星信标比较法测试其天线增益及地球站G/T值的可行性及正确性,同时指出产生测试误差的可能原因及减小误差的方法。目前,该方法仍然是这种情况下的唯一选择。

**关键词** 信标比较法 天线增益 G/T值

## 1 卫星通信信号收信载噪比的确定

根据卫星通信的物理过程所建立的噪声模型表明,所接收的卫星通信信号总载噪比 $[C/T]_T$ 由上行线路的载噪比 $[C/T]_U$ 、卫星互调产生的载噪比 $[C/T]_{IM}$ 和下行线路的载噪比 $[C/T]_D$ 三部分所组成。

● 上行线路的载波与等效噪声温度之比

上行线路的载波与等效噪声温度之比为

$$[C/T]_U = [EIRP]_E - [L]_U - [G/T]_S \quad (1)$$

式中, $[C/T]_U$ :上行线路的 $[C/T]$ 值(dBW/K); $[EIRP]_E$ :地球站发射某一载波的等效全向辐射功率(dBW); $[G/T]_S$ :卫星转发器收信时的 $[G/T]$ 值(dB/K); $[L]_U$ :上行线路的传播损耗(dB)。

● 卫星互调产生的载噪比

卫星互调产生的载噪比是通信卫星转发器中的行波管功率放大器在多载波工作条件下因互调产生的载噪比 $[C/T]_{IM}$ ,该数值通常由通信卫星公司给出。

● 下行线路的载波与等效噪声温度之比

下行线路的载波与等效噪声温度之比为

$$[C/T]_D = [EIRP]_S - [L]_D + [G/T]_E \quad (2)$$

式中, $[EIRP]_S$ :卫星发射某载波到达接受点的等效全向辐射功率(dBW); $[C/T]_D$ :下行线路的 $[C/T]$ 值(dBW/K); $[L]_D$ :下行线路的传输损耗(dB); $[G/T]_E$ :地球站收信时的 $[G/T]$ 值(dB/K)。

所接收的卫星通信信号总载噪比 $[C/T]_T$ 为

$$(C/T)_T^{-1} = (C/T)_U^{-1} + (C/T)_{IM}^{-1} + (C/T)_D^{-1} \quad (3)$$

式中, $(C/T)_U^{-1}$ :卫星上行线路载波等效噪声温度比; $(C/T)_{IM}^{-1}$ :卫星转发器载波互调噪声温度比; $(C/T)_D^{-1}$ :卫星下行线路载波等效噪声温度比。

考虑到上、下行线路共用信道(各卫星之间、地面微波)干扰的影响,式(3)中的 $(C/T)_U^{-1}$ 、 $(C/T)_D^{-1}$

应由下两式来代替:

$$(C/T)_U^{-1} = (C/T)_U^{-1} + (C/T)_{IU}^{-1} \quad (4)$$

$$(C/T)_D^{-1} = (C/T)_D^{-1} + (C/T)_{ID}^{-1} \quad (5)$$

上两式的含意是,上行或下行的载波等效噪声温度比应由热噪声所引起 $(C/T)_U^{-1}$ 、 $(C/T)_D^{-1}$ 和由各卫星共用信道所引起的干扰噪声 $(C/T)_{IU}^{-1}$ 、 $(C/T)_{ID}^{-1}$ 的总和来构成。

于是,卫星通信信号收信时的总载噪比为

$$(C/T)_T^{-1} = (C/T)_U^{-1} + (C/T)_{IU}^{-1} + (C/T)_{IM}^{-1} + (C/T)_D^{-1} + (C/T)_{ID}^{-1} \quad (6)$$

顺便说明,卫星通信的技术参数通常以对数形式给出,在本文中,我们用方括号“[ ]”表示某个数的对数值;用圆括号“( )”表示某数的数值。

通信技术参数以对数形式给出时,求解总载噪比 $[C/T]_T$ 值的式“(6)”改写为如下的常用计算公式:

$$[C/T]_T = 10 \log \left[ \frac{1}{\frac{1}{10^{-10}} \frac{[C/T]_U}{10^{-10}} + \frac{1}{10^{-10}} \frac{[C/T]_{IU}}{10^{-10}} + \frac{1}{10^{-10}} \frac{[C/T]_{IM}}{10^{-10}} + \frac{1}{10^{-10}} \frac{[C/T]_D}{10^{-10}} + \frac{1}{10^{-10}} \frac{[C/T]_{ID}}{10^{-10}}} \right] \quad (7)$$

## 2 卫星信标信号收信电平及载噪比的确定

卫星信标信号不同于卫星通信信号,其差别表现为:

为了保证信标信号极高的频率稳定度( $10^{-8}$ ),以利高灵敏度的窄带接收,信标信号不经地球站发射、卫星接收的过程,因为若经过卫星的下变频后,其频率稳定度将下降为 $10^{-6}$ 量级。所以,信标信号源须安装于卫星上,直接以下行频率向地球发射。

为了用信标信号传送卫星上的遥感遥测数据,调制信标信号的信源及调制设备必须是星上设备。

因此,对于卫星信标信号而言,其通信就成为卫

星到地球两者之间的通信。

### ● 卫星信标信号受信电平的确

基于上述理由,根据点对点通信的通信距离方程式可得出

$$P_{ER} = \frac{P_{ST} G_{ST}}{(4\pi d/\lambda)^2} G_{ER} = \frac{P_{ST} G_{ST}}{L_f} G_{ER} \quad (W) \quad (8)$$

$$\text{或} [P_{ER}] = [EIRP]_{ST} - [L_f]_D + [G]_{ER} \quad (dBW) \quad (9)$$

式中:  $L_f = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2$ : 卫星到地球站的路径损耗;

或:  $[L_f]_D = 10\log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \quad (dB)$ ;  $[EIRP]_{ST} = 10\log(P_{ST} G_{ST})$ : 卫星信标信号的等效全向发射功率(dBW);  $G_{ST}$ 、 $P_{ST}$ 分别为卫星发射天线的增益及信标信号的发射功率;  $G_{ER}$ 、 $P_{ER}$ 分别为地球站接收天线的增益及信标信号的接收功率;  $\lambda$ : 信标信号的波长;  $d$ : 卫星至地球站的距离。

### ● 星信标信号收信载噪比的确定

根据同样的理由,由于卫星信标信号没有经地球站发射、卫星接收的上行线路过程,所以也就没有卫星上的转发过程,换句话说,就是无上行线路及卫星转发过程所产生的噪声(即  $(C/T)_U^{-1}$ ,  $(C/T)_M^{-1}$  中的  $T=0$ ),于是,根据式(3),卫星信标信号收信载噪比为:

$$(C/T)_T^{-1} = (C/T)_U^{-1} + (C/T)_M^{-1} + (C/T)_D^{-1} = (C/T)_D^{-1}$$

也就是说,地球站接收卫星信标信号的载噪比就等于卫星通信线路的下行线路的载噪比,根据式(2)则得

$$[C/T]_{RB} = [EIRP]_{SB} - [L]_D + [G/T]_E \quad (10)$$

式中:  $[C/T]_{RB}$ : 所接收的卫星信标信号的载噪比(dBW/K);  $[EIRP]_{SB}$ : 卫星信标信号到达接收站的等效全向发射功率(dBW);  $[L]_D$ : 从卫星到地球站信标信号的路径损耗(dB);  $[G/T]_E$ : 地球站在信标频率处的  $G/T$  值(dB/K)。

## 3 比较法测试天线增益及地球站 $G/T$ 值

### ● 信标比较法测试天线增益

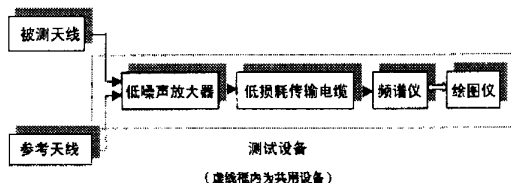
由式(9)可知:在  $[EIRP]_{ST}$ 、 $[L_f]_D$  均相同的条件下,地球站接收信标信号的功率  $P_{ER}$  仅仅取决于地球站接收天线的增益  $[G]_{AR}$ ,换句话说,在相同的条件下,两个不同地球站接收信标信号功率的差别,也就是两站天线增益之差。因此,当一个地球站接收天线的增益为已知数  $[G_{AR}]$  时,再分别测试出两站接收信标信号电平之差  $\Delta[P]$ ,即可求出待测地球站接收天线的增益  $[G_{AM}]$  为

$$[G_{AM}] = [G_{AR}] + \Delta[P] \quad (dB) \quad (11)$$

$$\Delta[P] = [P_{BR}] - [P_{BM}] \quad (dBW) \quad (12)$$

式中:  $[G_{AR}]$ : 参考地球站接收天线的增益(dB);  $[P_{BR}]$ : 参考地球站接收信标信号的功率(dBW);  $[P_{BM}]$ : 待测地球站接收信标信号的功率(dBW)。

这就是信标信号比较法测试天线增益的理论及方法。比较法测试天线增益的方框图如附图所示。



附图 比较法测试天线增益及地球站  $G/T$  值方框图

### ● 信标比较法测试地球站 $G/T$ 值

同样,由式(10)可知:在  $[EIRP]_{SB}$ 、 $[L]_D$  均相同的条件下,地球站接收信标信号的  $C/T$  值仅仅取决于地球站的  $G/T$  值,换句话说,在相同的条件下,两个不同地球站接收信标信号  $C/T$  值的差别,即是两地球站  $G/T$  值的差别。因此,当一个地球站的  $G/T$  值为已知数  $[G/T]_{RE}$  时,通过比较两站接收信标信号的  $C/T$  值,求出其差值  $\Delta[C/T]$ ,即可求出待测地球站的  $[G/T]_{ME}$  值为:

$$[G/T]_{ME} = [G/T]_{RE} + \Delta[C/T] \quad (dB/K) \quad (13)$$

$$\Delta[C/T] = [C/T]_{RB} - [C/T]_{MB} \quad (dBW/K) \quad (14)$$

式中:  $[G/T]_{RE}$ : 参考地球站在信标频率处的  $G/T$  值;  $[C/T]_{RB}$ : 参考地球站接收信标信号的  $C/T$  值;  $[C/T]_{MB}$ : 待测地球站接收信标信号的  $C/T$  值。

这就是信标信号比较法测试地球站  $G/T$  值的理论及方法。

信标比较法测试地球站  $G/T$  值的方框图与附图相同,其差别在于前者测试的是信标的电平,而后者测试的是信标的载噪比。

考虑到  $[C/N] = [C/T] - [k] - [B]$ ,而  $k$  是波尔兹曼常数,  $B$  是噪声带宽,在进行该项测试时,这两项参数均是相同的,所以  $C/T$  值的测试可以转换成对信标信号  $C/N$  值的测试,其结果不变。

## 4 测试误差的来源及对策

如前所述,卫星信标比较法是基于  $[EIRP]_{SB}$ 、 $[L]_D$  均相同,所以,任何造成  $[EIRP]_{SB}$ 、 $[L]_D$  不相同的因素,都是产生测试误差的原因:

① 时间因素。卫星的  $[EIRP]_{SB}$  值随时间有变化,其变化的峰峰值为  $\pm 0.5dB$ ;当信标信号处于调制状态时,其载波峰值将随调制指数的变化而变化;

② 地域因素。卫星的  $[EIRP]_{SB}$  值随地球站地

理位置不同而有所差异;

③环境因素。不同的气候环境,将直接影响所测信号的 $[C/T]_{RB}$ 值;

④参考基准。参考地球站 G/T 值及天线增益值的准确性、可靠性;

⑤ 噪声测量的随机性;

⑥ 人为因素。待测站和参考站应调试到最佳状态。

针对上述原因,采取如下措施:①异地同时测试,限地域选择测试参考站可有效减少地域因素、环境因素误差。地域范围以 $[EIRP]_{SB}$ 值、气候条件相同为准;②同地同时测试是最佳选择方案,可消除时间因素、地域因素、环境因素引入的测试误差;③同地不同时测试,无测试系统差异引入的误差,时间因素的测试误差,可通过多次测试,取其均方值;④采

用频谱仪的 AVG 功能键,设置  $N \geq 100$  次,是减小噪声测试误差的有效方法;⑤制定科学、严谨的测试规范,提供准确、可靠的参考站 G/T 值及天线增益数据;⑥选择信标无调制时进行测试。这样可有效地减少测试误差。

## 5 结束语

本文所述的卫星信标比较法已第一次应用于天线增益及 G/T 值的测试,结果令人满意,测试方法得到众专家的认可。

### 参考文献

- 1 Wilbur L. Pritchard, Henri G. Suyderhoud, Robert A. Nelson. Satellite Communication Systems Engineering (Second Edition)
- 2 吕洪生等主编. 实用卫星通信工程. 成都:电子科技大学出版社,1994.10

(上接第 30 页)

法确定的 VCL 对象,还是强烈建议使用 Synchronize()方法确保程序的可靠性。

## 3.2 多线程间的同步

若线程必须等到另一线程完成某项任务,可让线程暂时中断执行。然后,或者等待另一线程完全执行结束,或者等待另一线程通知完成了该项任务。

### ①等待线程执行结束

可以使用 WaitFor 方法等待另一线程的结束。WaitFor 直到那个线程终止才返回,终止的方式要么完成了其 Execute 方法,要么由于一个异常。

### ②等待任务完成

当只需等待一些操作完成而不是等待线程结束时,可以使用事件对象(TEvent),该变量必须全局可见。假如 A 线程完成某些操作后,B 线程才能执行,可以在 A 线程完成完成这些操作后,调用 TEvent::SetEvent,通知 B 线程操作完成。B 线程检测到后,要调用 TEvent::ResetEvent 关掉信号。

## 4 线程的执行

线程的执行由 Execute 方法实现。在程序中,首先创建线程类的实例,要创建一个立即开始运行的线程实例,将构造函数的 CreateSuspended 参数设为 false 即可。例如,下列代码创建一个线程并开始运行:

```
TMyThread * MyProcess = new TMyThread (false);
```

需要注意的是不要在应用程序中创建太多的线程,过多的线程反而会降低整体效率。

## 5 工程应用

在国家某重点工程中,笔者负责开发接收分系统的监控软件。要求同时监控几十个检测控制点,同时和 12 个串行口通信,其中有的串口实时性要求较高,数据量较大。采用传统的编程方法存在通信数据丢失、查询刷新时间长、命令响应慢等问题。为解决这些问题,采用了多线程技术,通讯口的读写、监控点查询和画面刷新均采用了独立的线程完成,监控效率大为提高,命令响应和数据采集间隔时间缩短,保证了监控数据的实时上报和下达,稳定可靠地完成了监控任务。

## 6 结束语

本文结合 Borland 公司开发的强大的 RAD 工具 C++ Builder,对 Windows 下的多线程编程做了比较全面的介绍。多线程编程在软件开发中经常使用,合理正确地使用可以大幅提高软件的性能和执行效率。

### 参考文献

- 1 C++ Builder5 开发人员指南. Borland/Inorise 公司. 机械工业出版社,2000

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com)),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果,又能免除您舟车劳顿的辛苦,学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲,结合实际工程案例,直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>