

的影响及纠正措施

李龙¹, 马晓铮²

1. 中国电子科技集团公司第五十四研究所, 河北 石家庄 050000

2. 信息支援部队某部, 河北 石家庄 050000

DOI:10.61369/EPTSM.2025050003

摘 要：北斗短报文终端大多使用温补晶振作为频率基准，由于钟漂效应，温补晶振的中心频率会随时间产生偏移，可能影响到设备的正常使用。本文针对北斗短报文通信终端的常规架构，定量分析了钟差对终端发射频率的影响，并从工程应用的角度设计了两种钟差测量的方法，同时给出了钟差补偿策略。

关键词：北斗短报文通信；钟差；发射频率

Influence of Local Clock Difference of Beidou Short Message Communication Terminal on Transmission Frequency and Correction Measures

Li Long¹, Ma Xiaozheng²

1.The 54th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Shijiazhuang, Hebei 050000

2.A Unit of Information Support Force, Shijiazhuang, Hebei 050000

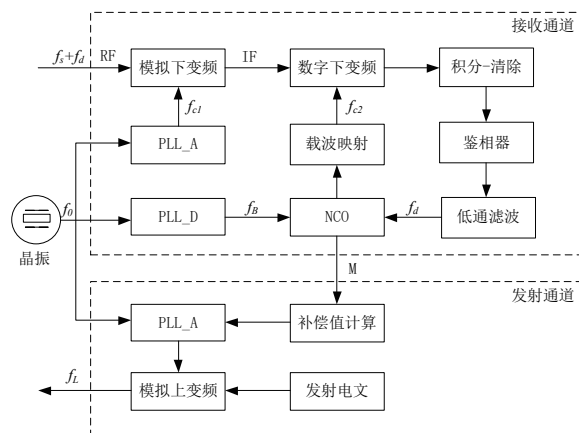
Abstract : Most of the BD-3 RSMC terminals use temperature-compensated crystal oscillators(TCXO) as the frequency reference. Due to the clock drift effect, the output frequency of the temperature-compensated crystal oscillator may shift over time, which may affect the normal operation of the equipment in severe cases. This paper quantitatively analyzes the impact of clock difference on the transmission frequency based on the conventional RSMC terminals, and designs two methods for clock difference measurement from the perspective of engineering application, A compensation strategy based on software solution is designed to calibrate the transmission signal frequency.The actual test results have proven the effectiveness of the strategy.

Keywords : Beidou short message communication; clock difference; transmission frequency

一、背景

北斗短报文通信功能是北斗三号系统的特色功能,通过北斗地面主控站的信息转发,任意两个北三用户机可以实现全天候的短报文互传。地面主控站时短报文通信信息处理的核心,用户机发射的 L 频段入站信号首先经卫星转发至地面主控站,主控站大系统解析入站信号后再将其通过卫星转发至对端用户机。由于多普勒效应的影响,用户机发射的入站信号会发生频率偏移,主控站大系统对频率偏移的适应范围有限,因此要求用户机在发射时进行多普勒补偿,使得到达地面系统的信号频偏处于规定的范围内。除了多普勒效应,用户机的钟差也会影响发射频率,且由于成本、体积限制,用户机时钟源大多选用温补晶振。由于钟漂效应,温补晶振的中心频率会随时间产生偏移。假如不考虑晶振频偏的影响,入站信号的发射频偏将随时间增大,严重情况下会达到地面系统无法解析的程度,导致通信失败。本文针对北斗用户机常规架构,分析了钟差对发射频率的影响,结合使用场景,给出了不同的用户机类型的钟差估计方法。

二、工作原理



北斗用户机短报文收发处理如图所示,接收通道载波跟踪环路采用数字锁相环实现,进入数字锁相环的是经过一次下变频的中频信号,与本地 DDS 产生的二级载波混频后,混频结果通过后端的鉴相器、滤波器等电路得到反馈信息,用于实时调整本地载

波的相位信息,从而实现信号的跟踪。载波环路完成锁定后,本地载波频率与中频信号频率基本一致。^[1]

整个信号处理过程中,晶振为设备提供频率基准,各级载波也是由晶振频率变频而来。载波的频率准确度因此取决于晶振的频率准确度。由于成本限制,北斗短报文终端大多采用温补晶振(TCXO)作频率基准。温补晶振内置温度补偿电路,可在一定的温度范围内补偿温度对晶体振荡频率的影响。但晶振内部晶体材料和电子元件随时间发生老化,导致其性能发生变化,会导致输出频率出现漂移,一般情况下,老化导致的漂移会随时间积累,导致输出频率朝特定方向不断漂移。记晶振的标称频率为 f_0 ,由于晶振漂移,晶振实际输出频率记为 f'_0 ,晶振频偏通常用ppm为单位,

$$f_{ppm} = \frac{f'_0 - f_0}{f_0} (\times 10^6) \quad (1)$$

接收通道采用二级下变频的方案,卫星下行信号频率为 f_s ,两级载波频率记为 f_{c1} 和 f_{c2} ,两,则有 $f_s = f_{c1} + f_{c2}$,由于晶振频偏的存在,两级载波的实际频率 f'_{c1} 和 f'_{c2} 均与设计值有所偏离,其中:

$$f'_{c1} = f_{c1}(1 + f_{ppm}) \quad (2)$$

$$f'_{c2} = f_{c2}(1 + f_{ppm}) \quad (3)$$

$$f'_{c1} + f'_{c2} = f_s(1 + f_{ppm}) \quad (4)$$

北斗短报文终端实际接收到的卫星信号频率记为 f_R ,则 $f_R = f_s + f_d$,其中, f_s 为卫星信号的标称频率,该频率值为2.4GHz左右。 f_d 为北斗短报文终端终端与卫星相对运动产生的多普勒频率, $f_d = \frac{v}{l} = \frac{v}{c} f_s$, v 表示终端与卫星的径向速率, λ 表示卫星信号载波波长, c 表示光速,当终端朝向卫星运动时,多普勒频率为正,当终端背离卫星运动时,多普勒频率为负。^[2]

由图1可知,经过两级下变频处理后,卫星信号的载波被完全剥离,只剩下多普勒频率,因此输出信号经低通滤波后,其频率理论上应等于多普勒频率。然而,由于钟偏的存在,实际输出的信号频率 Δf 除了包含多普勒频率外,还额外引入了部分误差,该误差等于卫星信号载波频率与钟差的乘积,即:

$$\Delta f = f_R - (f'_{c1} + f'_{c2}) = f_d - f_s f_{ppm} \quad (5)$$

载波跟踪环路使用带反馈的数字控制振荡器(NCO)用于本地二级载波生成和信号跟踪,两级下变频后的信号经过鉴相处理和低通滤波后形成反馈信号,实现NCO频率控制字M的调整,以实现本地载波信号与输入卫星信号的同步。数字控制振荡器(NCO)的基准频率 f_B 由晶振输出信号经锁相环生成,累加器位数为N。对于NCO频率控制字M初始值,由以下公式确定

$$f_{c2} = f_B \frac{M}{2^N} \quad (6)$$

受晶振频偏影响,实际基准频率 $f'_B = f_B (1 + f_{ppm})$,NCO的实际控制字 M' 与 Δf 的关系为:

$$\Delta f = f'_B \frac{M' - M}{2^N} \quad (7)$$

不考虑钟漂的情况下,NCO进行多普勒频率估计依然按照标

称频率 f_B 进行计算:

$$f'_d = f_B \frac{M' - M}{2^N} = \frac{f_d - f_s f_{ppm}}{1 + f_{ppm}} \quad (8)$$

终端发射的多普勒补偿公式为:

$$f'_L = f_L - \frac{f_d}{K} \quad (9)$$

其中,K为发射频率与接收频率的比例因子, $K = \frac{f_s}{f_L}$

$$f'_L = f_L (1 + f_{ppm}) - \frac{f'_d}{K} = f_L - \frac{f_d}{K} + 2f_L f_{ppm} \quad (10)$$

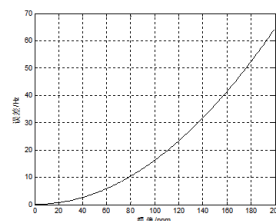
$$f'_L = f_L (1 + f_{ppm}) - \frac{f_d - f_s f_{ppm}}{K(1 + f_{ppm})} = f_L \left(1 + f_{ppm} + \frac{f_{ppm}}{1 + f_{ppm}} \right) - \frac{f_d}{K(1 + f_{ppm})} \quad (11)$$

一般情况下,常规温补晶振的初始频偏在1ppm左右,每年偏移到1ppm左右, f_{ppm} 的值较小, $1 + f_{ppm} \approx 1$,上式可简化为:

$$f'_d \approx f_d - f_s f_{ppm}$$

$$f'_L \approx f_L - \frac{f_d}{K} + 2f_L f_{ppm}$$

上述等式简化会带来一定的估计偏差,通过绘制偏差曲线,可以看出估计偏差随着频偏增加而增加,但误差值并不算大,在频偏高达200ppm时,频偏估计误差值还不到70Hz。一般情况下,频偏在20ppm以下,此时频率误差还不到1Hz,因此等式简化带来的估计偏差可以忽略不计。



由上式,受接收机钟差的影响,实际发射频率 f'_L 与理论值 $(f_L - \frac{f_d}{K})$ 存在偏差,该偏差等于发射载波与频偏乘积的2倍。本质上,该偏差为钟差导致的多普勒估计偏差和发射载波偏差的叠加,折算到发射频段便会产生2倍频偏的效果。

钟差	1ppm	2ppm	3ppm	4ppm	5ppm
发射频偏 Hz	3200	6400	9600	12800	16000

一般来说,北斗卫星对于发射频偏的适应范围有效,按照+12kHz计算,假如对接收机钟差不做处理,当钟差超过6ppm时,发射频偏就会超出卫星的适应能力,导致无法正常解析入站数据,引发通信失败。例如对于出厂频偏1ppm,钟漂1ppm/年的接收机,最短5年后钟差就可能达到3ppm以上。

为了保证接收机的长期可用性,应定期对测量钟差并在入站发射时依据钟差值进行频率校正,以保证发射频率的准确度。

三、钟差的估计方法

对于钟差的估计方式,最直接的方法就是使用频谱仪测量晶振的输出频率,但晶振一般位于设备内部基带板卡,不拆解设备

四、接收通道测量法

$$f_{ppm} \approx -\frac{f_d'}{f_c}$$

五、发射通道测量法

$$f_{ppm} \approx \frac{f'_L - f_L}{2f_L}$$

六、钟差的补偿方法

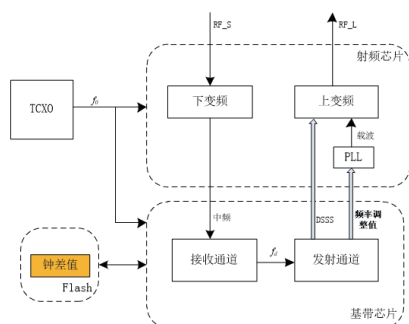

$$f_L' = f_L - \frac{f_d'}{K} - 2f_L f_{ppm}$$
$$f'_I = f_I - f_I f_{\text{rpm}}$$

Figure 10 shows two frequency spectrum plots. The left plot displays a signal at 1.6184460 GHz with a peak at 0.00 dBm. The right plot displays a signal at 1.61834 GHz with a peak at 0.00 dBm. Both plots have a frequency range from 150.00 MHz to 150.00 MHz and a resolution of 100 Hz.

八、总结

参考文献

- Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License. | 029