

射电天文观测的频率稳定性和计时精度

Lei Qian

National Astronomical Observatory of China

Beijing, 100012, China

April 13, 2010

射电天文观测这个题目太大，实际我只能挑我思考过的几个观测目标所要求的频率稳定性和计时精度进行阐述。这些观测目标包括：频谱观测（以中性氢21厘米谱线为例）、脉冲星测时和甚长基线干涉（VLBI）观测。

对于频谱观测对频率稳定性的要求，我们分几步来考虑。首先考虑系统的频率不准，但是稳定（例如，本地振荡器（本振）一直保持一个不准的频率，例如，原本应该是1GHz的本振，现在频率是 $1\text{GHz}+1\text{Hz}$ ，而且保持不变）。在这种情况下，得出的中频（IF）就少了1Hz，最终的频谱就统一向低频移动了1Hz。这对于分辨率为0.2km/s（带宽大约是1kHz）的中性氢谱线而言，造成的频率的相对误差是1/1000。实际上，这应该作为一个上限，因为实际中性氢谱线的宽度比0.2km/s大一些，如果谱线上没有微小结构的话，1Hz的频率移动造成的相对误差应该小于1/1000。接下来考虑系统的频率以一种规律的方式变化，例如，在一半的时间处于 $1\text{GHz}+1\text{Hz}$ ，一半的时间处于 $1\text{GHz}-1\text{Hz}$ ，并且周期性变化。那么如果频谱观测的时间足够长，包含了很多个这样的变化周期，那么最终在频谱上应该看到两条谱线，线心的距离是2Hz。但是由于这个距离和谱线的宽度相比太小，实际看到的是原来的谱线被展宽了2Hz。最后考虑本振频率以方差 σ 在中性频率 ν 附近随机变化，那么显见，最终的效果是使谱线展宽 2σ 。简单地说，如果谱线观测要求的频率精度是带宽的1/10，对于0.2km/s的分辨率，这是100Hz，那么对于频率1GHz的本振精度只需要 10^{-7} 。

对于脉冲星计时观测，对于脉冲宽度0.1ms的脉冲星，如果观测每个单独的脉冲，而不是叠加一些脉冲，那么在一段观测时间里（比如1000秒）时间精度至少要好于0.1ms。这可以这样理解，假定时钟有一个系统性的偏差，实际的1s在时钟来看是 $1\text{s}+\delta\text{s}$ ，也就是时钟周期不准，有系统性漂移，

那么就要求在整个观测时间内积累的时间差不能大于脉冲轮廓宽度。也就是说在上述情况下应该有 $\delta < 10^{-10}$ 。如果时钟的偏差是随机的，例如在第1秒，时钟走过 $1s + \delta s$ ，而在第二秒时钟走过 $1s - \delta s$ ，那么上述要求还可以放宽。

对于甚长基线干涉观测，和其它所有的干涉一样，要产生干涉条纹，计时精度应该小于波的相干时间。相干时间由不确定原理确定，对于带宽 $\Delta\nu$ ，相干时间大约为 $t \sim 1/\Delta\nu$ 。于是对于单通道带宽为1MHz的甚长基线干涉观测，计时精度应该好于1ms。这个计时精度的意义可以参考脉冲星计时观测。