引文格式：朱彩杰. GPS信号强度变化对接收机数据质量的影响分析[J]. 地理空间信息, 2023, 21(5): 120-121. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023.05.030

GPS信号强度变化对接收机数据质量的影响分析

朱彩杰[1]
（1. 广州吉欧电子科技有限公司，广东 广州 510000）

摘　要：由于卫星信号强度对接收机跟踪具有重要影响，将模拟器设置为不同大小的电平播发不同强度的GPS信号，以测试和芯星通（UB4B0）接收机跟踪卫星的情况；并将接收机采集的原始数据转换为RINEX格式的观测值文件和星历文件，通过星间单差、站星双差的方式计算伪距和载波相位的双差残差。通过对比不同信号强度下的卫星数和零基线双差残差，利用Matlab软件绘图，进一步分析GPS信号强度变化对接收机数据质量的影响。

关键词：GPS；模拟信号；双差残差；影响分析
中图分类号：P228　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）05-0120-02

Influence Analysis of GPS Signal Strength Change on Receiver Data Quality

ZHU Caijie[1]
(1. Geoelectron Science and Technology Co., Ltd., Guangzhou 510000, China)

Abstract: Because the signal strength of satellite has a very important influence on the tracking of receiver, we gave the situation that the simulator set different levels to broadcast different strength GPS signals for testing the performance of tracking satellite by core satellite communication (UB4B0) receiver. We converted the original data collected by the receiver into the observation value file and ephemeris file in RINEX format, and used the inter satellite single difference, inter station difference double difference to calculate the double difference residuals of pseudo range and carrier phase. By comparing the number of satellites and the size of zero baseline double difference residuals under different signal strength, we further analyzed the influence of GPS signal strength on receiver data quality by using Matlab software.

Key words: GPS, analog signal, double difference residual, influence analysis

GPS用户设备主要包括GPS接收机及其天线、微处理机、终端设备以及电源等，其中接收机和天线是核心部分，习惯上统称为GPS接收机[1]。其主要功能是接收并处理GPS卫星发射的信号，获取导航和必要的观测量，用于导航定位测量相关领域。GPS信号强弱会对接收机搜索并跟踪卫星产生一定的影响，而接收机接收的卫星数据质量将直接影响地面点坐标的精度以及实时导航测量功能。GPS接收机定位至少需要接收4颗可用卫星的信号。

目前，市场上的接收机越来越多，但均面临弱信号跟踪的挑战。不同厂家的接收机由于基带算法、前端整个信号通路的增益以及噪声性能存在差异，对弱信号的处理不完全相同。对于信噪比过低的信号，各接收机都会面临卫星失锁情况，导致其在遮挡或室内环境的使用受到一定限制。基于此，本文进行了相关实验以验证信号强度对接收机的影响。

1　模拟信号设计

GPS卫星载波频率L1为1 575.42 MHz，L2为1 227.6 MHz，在载波L1/L2上分别调制伪随机噪声码和导航电文。在一定的误码率BER前提下，只有GPS接收机接收的卫星信号强度不低于接收机的解调门限，才能正确解调出卫星信号。接收机的解调门限是指每比特能量与噪声功率谱密度之比。由于输入信号中有用信号的信噪比较低，导致接收机判断为信号不存在，因此在遮挡环境或信号衰减严重的情况下，接收机易出现跟踪的卫星失锁现象。本文主要以GPS L1C/A频点上的卫星信号为例，进行实验设计和分析。

GPS信号是从距离地面约2×10^4 km的中高轨道卫星上发送到地面的，其L1C/A频段自由空间衰减为：

$$F=(\frac{\lambda}{4\pi R})^2=(\frac{0.19}{4\pi\times2\times10^7})^2\approx5.73\times10^{-19}\approx182.4\ \text{dB}\quad(1)$$

收稿日期：2022-01-12；修回日期：2022-05-09。
项目来源：国家自然科学基金资助项目（41774037）。
作者简介：朱彩杰（1988—），硕士研究生，研究方向为GNSS定位算法，E-mail: zcj13527654981@163.com。

根据标准的GPS系统设计指标[2]可知，在L1频段上解调的C/A码信号的发射有效通量密度为$P=478.63\text{W}\,(26.8\text{ dBW})$，若大气层衰减为$A=2.0\text{ dB}$，则GPS的L1频段C/A码信号到达地面的强度可表示为：

$$P_{\text{C/A}}=P-F-A=26.8-182.4-2.0=-157.6\text{ dBW} \quad (2)$$

GPS接口控制文档的官方文件[3]中给出的GPS的L1频段C/A码信号强度的最小值接近−160 dBW，式（2）的计算结果与其相符。在实际场景中，由于卫星在轨道运动过程中高度角随之变化，且树丛、构筑物等对信号造成干扰和衰减，L1频段的C/A信号实际到达地面的强度会被削弱，低于−160 dBW[4]。接收机热噪声基底的计算公式为：

$$N_{T_0}=\text{k}T_0=1.38\times10^{-23}\times290\approx-174\text{ dBW/Hz} \quad (3)$$

式中，k为波尔兹曼常数，$\text{k}=1.38\times10^{-23}\text{ J/K}$；$T_0$为标准噪声温度，$T_0=290\text{ K}$。

接收机载噪比的计算公式为：

$$CN_0=P-N_{T_0}-\Delta \quad (4)$$

式中，P为设置的模拟器电平值；Δ为连接接收机与模拟器的线缆损耗，约为5 dBW。

模拟器的电平以每min降低1 dBW的幅度进行变化，由−115 dBW降到−160 dBW。

2　模拟信号强度对接收机跟踪卫星的影响

目前，市场上普通性能GPS接收机能正常工作需要的最低信号功率约为−160 dBW，而室内环境接收的信号功率比室外环境低10~30 dBW[5]（表1）。因此，通常将GPS信号功率低于−170 dBW（对应载噪比为34 dB/Hz）的信号称为GPS弱信号[6]。经实验验证，一般的接收机在室外正常工作情况下，进入室内或其他非开阔环境下将会出现问题而无法正常工作[7]。

在模拟器仿真的电平变化过程中，GPS L1C/A频点的卫星个数变化情况如图1所示，可以看出，模拟器电平大于−145 dBW时，GPS卫星跟踪正常，L1C/A频点上卫星个数稳定在11~12颗，此时GPS接收机进行导航定位测量是有保障的，可利用充足的观测值计算最优的PDOP[8]，有利于定位相关解算，以给出最佳的定位测量结果；而模拟器电平小于−145 dBW时，部分卫星逐渐开始失锁，卫星个数也逐渐减少，直至卫星信号完全失锁，接收机的定位解算功能将会停止。在GPS卫星信号强度的变化过程中，卫星PDOP值会发生变化，由于大部分卫星失锁，残余卫星的信号质量较差、信噪比低，几何构型也会随之变差，导致观测信息不可靠，对定位结果造成一定的偏差[9]，影响正常使用。

表1　各种环境下的信号强度

条件	信号电平/dBW	载噪/(dB/Hz)	信噪比/dB
室外（约45°高度角）	−160	44	−19
室内极强信号	−165	39	−24
室内中强度信号	−175	29	−34
室内弱信号	−180	24	−39
室内微弱信号	−185	19	−44

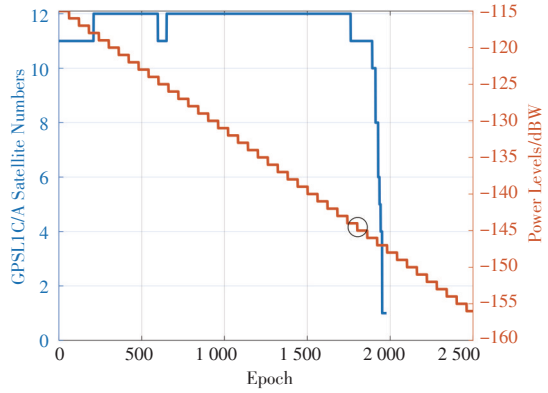


图1　GPS L1C/A卫星个数随电平降低而变化的时间序列图

对于接收机接收的观测值质量检测，本文主要采用卫星间单差、测站间双差的方式进行伪距和载波相位观测值残差计算，随着模拟器电平的变化，伪距双差和载波相位双差的残差越来越大，即GPS信号越弱，信噪比越低，噪声相对就越大。本文以接收的可见GPS卫星中的一颗G26为例，分析了GPS卫星在整个实验过程中的变化趋势，如图2所示，可以看出，G26的CN_0随着模拟器电平的变化而变化，模拟器电平不断降低，CN_0随之减小，从49 dBHz降至24 dBHz。

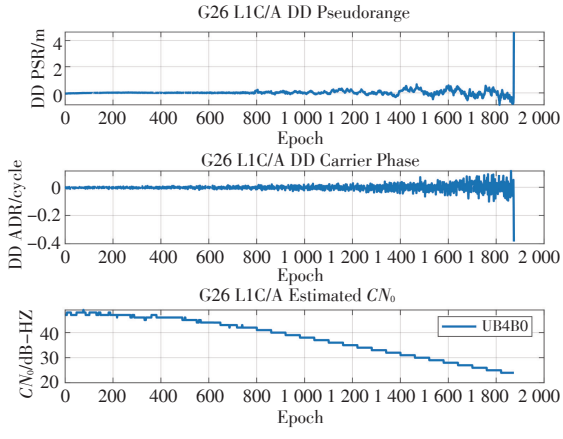


图2　伪距双差、载波相位双差、CN_0时间序列图

当载噪比大于30 dBHz时，伪距双差和载波相位双差残差的变化幅度较小；当载噪比小于30 dBHz时，则出现较明显的噪声震荡现象，伪距双差残差在±0.5 m的幅度内振动，载波相位双差残差在±0.2周的幅度内振动，而在信号即将消失时，伪距双差残差出

（下转第132页）