

GPS 信号载噪比研究

黄劲松¹ 刘峻宁¹ 刘成宝¹ 田 辉¹

(1 武汉大学测绘学院,武汉市珞喻路 129 号,430079)

摘 要:介绍了 GPS 接收机所接收信号的载噪比;提出了载噪比方向图的概念,导出了载噪比方向图与天线增益方向图的关系;初步评估了大气损耗的时空差异;指出可利用载噪比异常方向图确定被动式干扰源的方位。
关键词:GPS;天线增益;载噪比;载噪比异常;方向图
中图法分类号:P228.41

增益方向图是 GPS 接收机天线的一项重要特性,它直接影响所接收信号的载噪比。对增益方向图的研究最初集中在天线设计方面。近年来,一些学者在数据处理分析中对其加以利用,以提高导航定位、定姿的精度和可靠性,或直接用于定姿。过去,GPS 接收机天线增益方向图的测定,一直是在微波暗室中采用专门仪器设备来进行。本文通过对信号载噪比的分析研究,导出了载噪比方向图与天线增益方向图的关系;指出载噪比异常反映了信号所受干扰影响的大小,载噪比异常方向图可用于确定被动式干扰源的方位。

1 信号载噪比及载噪比方向图

衡量信号质量的指标有载噪比(CNR 或 C/N)和信噪比(SNR 或 S/N)^[1]。在 GPS 接收机中, C/N 是接收机输入端的载波功率与噪声功率之比, S/N 是接收机输出端的信号功率与噪声功率之比。它们之间的关系为^[1]:

$$S/N = C/N + G_p \tag{1}$$

式中, G_p 为处理增益。可见, S/N 不仅与输入信号的 C/N 有关,还与接收机内部处理信号的方法有关。由于 C/N 与带宽有关,因而通常将 1 Hz 带宽上的载噪比 C/N_0 (dB-Hz) 作为信号的质量指标, C/N_0 与 C/N 的关系为^[1]:

$$C/N_0 = C/N + B_N \tag{2}$$

式中, B_N 为等效噪声带宽(dB-Hz)。若所接收的

卫星信号未受干扰,则其 C/N_0 为^[2]:

$$C/N_0 = S_R + G_A - 10\lg(kT_0) - N_F - L \tag{3}$$
式中, S_R 为所接收到信号的功率(dBW)。 $S_R = \text{EIRP} + \text{FSL} + \text{AL}$,其中,EIRP 为等效各向同性辐射功率(dBW),与信号发射功率 S_T 及发射天线的增益 G_T 有关;FSL 为自由空间损耗(dB);AL 为大气损耗(dB)。 G_A 为卫星方向上接收机天线的增益(dBic)。 $10\lg(kT_0)$ 为热噪声密度(dB-Hz),约等于 -204 dBW-Hz。 k 为玻耳兹曼常数。 T_0 为热噪声的参考温度,用绝对温度表示,其值为 290°(K)。 N_F 为包括天线和电缆损耗在内的接收机噪声指数。 L 为实现损耗加上 A/D 损耗。

根据文献[1-4],本文将影响 C/N_0 的因素分为 3 类:① 影响相对固定或影响微小的因素,包括 S_T 、FSL 与 G_T 之和以及 AL;② 影响呈现随机波动的因素,包括 N_F 和 L ;③ 影响变化范围较大且呈系统性的因素,主要是 G_A 。

因此,对于在地面上工作的 GPS 接收机来说,在没有干扰并排除随机波动因素的情况下,造成所接收不同入射方向信号的 C/N_0 有所差异的最主要因素是接收机天线的增益方向图。即

$$\Delta[C/N_0] \approx \Delta[G_A] \tag{4}$$

式中, $\Delta[C/N_0] = C/N_0 - [C/N_0]_0$; $\Delta[G_A] = G_A - [G_A]_0$ 。其中 $[C/N_0]_0$ 和 $[G_A]_0$ 分别为同一参考方向(通常为天线视准轴方向)上的 C/N_0 和 G_A 值。这样,利用 C/N_0 实测值,就可建立用于描述

天线在不同方向上的增益与视准轴方向上的增益之间差异的相对增益方向图。若将一个增益方向图已知的天线作为参考,则还能够建立天线的绝对增益方向图。它们的精度均可优于 1 dB。

在实际应用中,真正需要的是信号 C/N_0 的预期值,它可由一个描述特定的接收机-天线组合在不同空间方向上所接收信号 C/N_0 特性的模型提供,本文中称该模型为载噪比方向图。

2 天线坐标系

天线增益方向图及接收信号的载噪比方向图均应在天线参考框架下建立。本文定义了一个天线坐标系(见图 1):原点位于天线平均相位中心; X_{Ant} 轴与天线基板平行,指向与天线指北标志一致; Z_{Ant} 轴(视准轴)垂直于天线基板,指向与基板正面一致, Y_{Ant} 轴与 X_{Ant} 轴和 Z_{Ant} 轴相互垂直,并最终形成左手系。可见,当天线水平安放且其指北标志指向正北方向时,天线坐标系与相对于天线平均相位中心的站心地平坐标系重合。

也可以定义极坐标形式的天线坐标系(见图 1):基准面与天线基板平行且过天线平均相位中心,其正向与天线基板正面一致;天线平均相位中心为极点;极轴指向与天线指北标志一致。信号入射方向可用二元组 (A_{Ant}, E_{Ant}) 表示,为了简明,在本文中称 A_{Ant} 为天线坐标系下的方位角, E_{Ant} 为天线坐标系下的高度角。

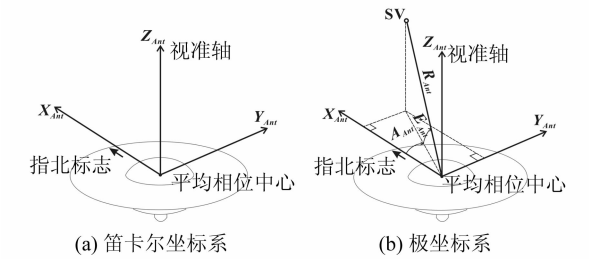


图 1 天线坐标系
Fig. 1 Antenna Coordinate Systems

3 载噪比方向图建模和载噪比异常

由于 GPS 接收机天线的增益主要与 E_{Ant} 有关,而与 A_{Ant} 基本无关,因此,在正常观测条件下,接收信号的 C/N_0 也具有相似的相关特性。这样,就可建立一个仅以 E_{Ant} 为变量的 C/N_0 模型(载噪比方向图模型)。本文采用了 Herring 提

出的建模方法^[6]:

$$C/N_0(E_{Ant}) = \sum_{i=0}^k a_i \sin^i(E_{Ant}) \tag{5}$$

式中, a_i 为模型系数。利用在没有明显干扰的环境中所采集到的观测数据,可回归出模型系数。利用该模型,可计算出信号 C/N_0 的期望值。若信号 C/N_0 的实测值与其期望值相差较大,则通常表明该信号受到了较为严重的干扰。在本文中,将所接收信号 C/N_0 的实测值与其期望值之差称为载噪比异常,而将描述不同空间方向上所接收信号载噪比异常特性的模型称为载噪比异常方向图。显然,载噪比异常的大小与信号所受干扰正相关。

4 实验与分析

4.1 实验过程

本研究分别于 2004 年 7 月 8 日至 9 日、12 月 9 日至 20 日、2005 年 7 月 11 至 17 日和 2006 年 4 月 22 日至 23 日进行了 4 期实验,实验地点位于武汉大学测绘学院楼顶,采集数据的仪器设备及观测设置如下。

1) 接收机:① Trimble 4000SSi(第 1~3 期,以下简称接收机类型 I),② Trimble 5700(第 4 期,以下简称接收机类型 II)。

2) 天线:① Trimble Compact L_1/L_2 with Ground Plane(以下简称天线类型 I),② Trimble Choke Ring(以下简称天线类型 II),③ Trimble Zephyr(以下简称天线类型 III)。

3) 参数设置:① 第 1~3 期的采样间隔为 15 s,截止高度角为 10° ,② 第 4 期采样间隔为 15 s,截止高度角为 0° 。

图 2 为实验场地的草图。4 期实验虽在同一场地进行,但安放天线的位置有所不同。

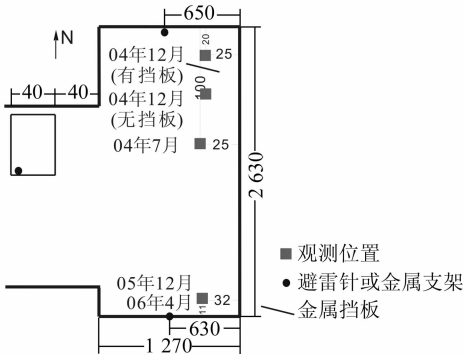


图 2 实验场地草图
Fig. 2 Sketch of Experimental Field

在 4 期实验中,分别在下列 3 种情况下进行数据采集:① 天线水平安放,无金属挡板;② 天线倾斜安放,无金属挡板;③ 天线水平安放,通过金属挡板引起多路径。

需说明的是,Trimble 4000SSi 所提供的 C/N_0 信息为信噪比计数(SNC),单位为 AMU(Trimble 的自定义单位),SNC 与 C/N_0 的关系为^[5]:

$$C/N_0 = 27.0 + 20 \lg(\text{SNC}) \quad (6)$$

4.2 实验数据分析

在本节中,站心地平坐标系下所标示的北为正北方向,天线坐标系下所标示的北为天线指北标志所指方向。

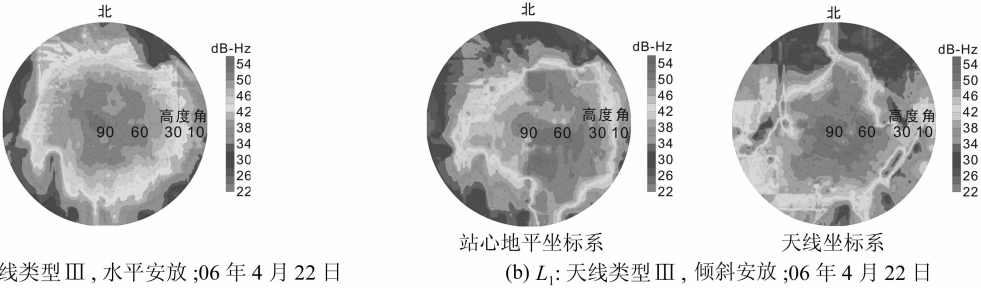


图 3 C/N_0 等值线图
Fig. 3 Contours of C/N_0

后面的分析均在天线坐标系下进行。
4.2.2 载噪比方向图的建模
这里分别给出了利用 4 组数据并采用式(5)

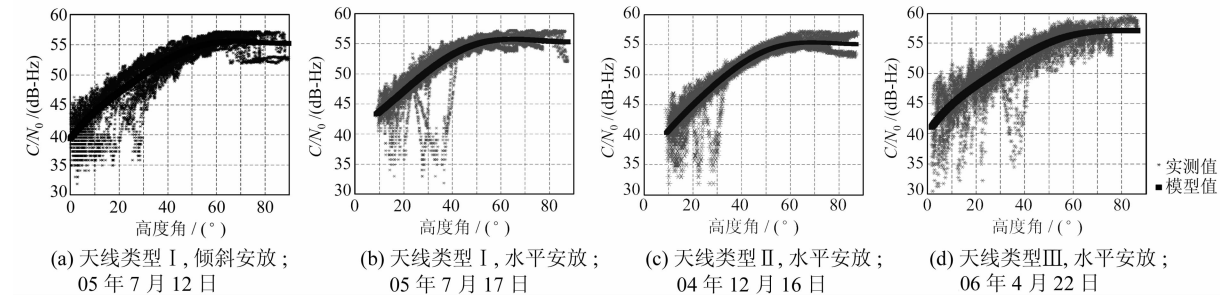


图 4 载噪比方向图模型和 C/N_0 的实测值及模型值
Fig. 9 Models of C/N_0 Pattern, Observed and Modeled Values of C/N_0

可见,绝大多数的 C/N_0 实测值与所建立的模型相符合,利用倾斜安放和水平安放的同类型天线所采集数据建立的模型也基本相同。

4.3 大气损耗时间差异的评估

将利用在无金属挡板的条件下,由水平安放的同型号天线,在不同时期所采集的数据所得到的 C/N_0 等值线图进行求差,可评估大气损耗的时间差异。图 5 给出了其中的两个结果,图 5(a) 为利用天线类型 I 分别于 05 年 7 月 17 日和 04 年 12 月 20 日所采集数据建立的等值线图的

4.2.1 不同坐标系下信号 C/N_0 的特性
利用实验数据,分别在相对于天线平均相位中心的站心地平坐标系和天线坐标系中绘制出信号 C/N_0 的等值线图。对于水平安放并进行定向的天线来说,站心地平坐标系与天线坐标系相同。图 3 为其中的 2 组。由图 3(a)可见,当天线水平安放时, C/N_0 等值线图的球对称特征非常明显。而由图 3(b)可看出,当天线倾斜安放时,站心地平坐标系下的 C/N_0 等值线图不具有球对称的特征,而天线坐标系下的 C/N_0 等值线图则具有球对称的特征。可见,与 C/N_0 强相关的是天线的增益特性,而非大气损耗。

的形式所建立出的 L_1 信号载噪比方向图的 4 阶多项式回归模型见图 4。

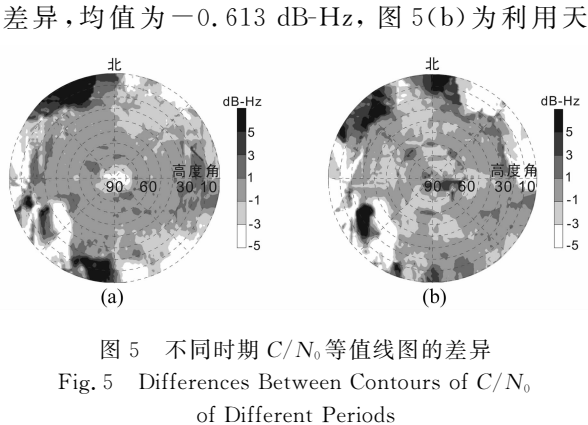


图 5 不同时期 C/N_0 等值线图的差异
Fig. 5 Differences Between Contours of C/N_0 of Different Periods

线类型Ⅱ分别于 05 年 7 月 13 日和 04 年 12 月 20 日所采集数据建立的等值线图的差异,均值为 0.834 dB-Hz。其他结果与此类似。可见,大气损耗在不同时期的差异不大,基本上在 1 dB 以内。

4.4 大气损耗方向差异的评估

在分别由倾斜安放天线和水平安放天线所得的 C/N_0 等值线图间进行求差,可评估大气损耗的方向差异。图 6 为其中的一个结果,其他结果与此类似。可见,大气损耗在不同高度角上的差异不大,在有实测数据的区域中,两等值线图的差异大多小于 1 dB。

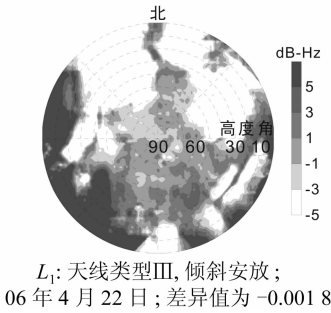


图 6 倾斜安放天线与水平安放天线所测定信号 C/N_0 等值线图的差异

Fig. 6 Difference of Contours of C/N_0 Between Skew Antenna and Horizontal Antenna

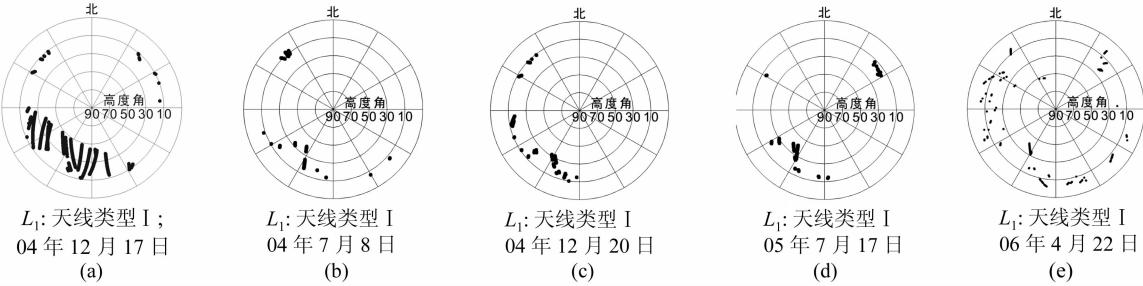


图 7 载噪比异常方向图

Fig. 7 C/N_0 Anomaly Patterns on Different Periods

5 结 论

- 1) 正常情况下,在地面上工作的 GPS 接收机所接收的来自不同方向信号 C/N_0 的差异主要取决于天线的增益方向图,载噪比方向图与天线增益方向图有密切关系。利用野外观测数据可获得所接收信号的载噪比方向图,并能采用适当方法,将载噪比方向图转换为天线的增益方向图。
- 2) 正常情况下,对于 GPS 信号,不同季节和不同高度角方向上的大气损耗差别不大。

4.5 利用载噪比异常方向图评估金属挡板对信号载噪比的影响

利用在施加金属挡板、天线水平安放的情况下所采集到的数据,得到载噪比异常方向图。图 7(a)为其中的一个结果,其他结果与此类似。为清晰起见,图中标示出的为载噪比异常绝对值大于 5 dB 的量。

从图 7(a)可见,在挡板方向上,存在大量接收信号载噪比异常值偏大的量,而在与挡板相对的方向上,却未如预期,仅存在少量的载噪比异常值偏大的量,这可能是由于被金属挡板所反射的信号大多未到达天线。

4.6 利用载噪比异常方向图确定干扰源

利用在无金属挡板、天线水平安放的情况下所采集到的数据,得到载噪比异常方向图。图 7(b)~图 7(e)给出了部分不同时期的载噪比异常方向图,图中标示出的仅为载噪比异常绝对值大于 5 dB 的量。可见,在特定方向上信号受到了明显的干扰。经现场勘查,发现在这些方向上有避雷针或金属支架(参见图 2)以及正在兴建中的高层建筑。可见,金属物体(如金属杆或电力线)对 GPS 信号产生了较大的影响,因此对于被动式干扰源(如金属结构、反射、衍射和遮挡),利用载噪比异常方向图可准确确定其方位。

载噪比异常可作为信号所受干扰影响大小的量度。通过载噪比异常方向图可确定被动式干扰源的方位。

参 考 文 献

[1] Dennis R. Satellite Communications [M]. New York: McGraw-Hill, 2002

[2] Kaplan E D. Understanding GPS: Principles and Applications[M]. New York: Artech House Inc, 1996

General Expression of Least Squares Collocation in Local Gravity Filed

ZHANG Chuanyin¹ DING Jian¹ CHAO Dingbo²

(1 Chinese Academy of Surveying and Mapping, 16 Beitaping Road, Haidian Distract, Beijing 100039, China)
(2 Key Laboratory of Geospace Environment and Geodesy, Ministry of Education, Wuhan University,
129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: On the basis of simply analyzing technical characters of least squares collocation, a general expression of experiential covariance function is put forward, which is identic for many gravity field variables of different types and above different heights. With the general expression, we can construct the same arithmetic for interpolation, extrapolation and continuation of local gravity field variables and estimation of different heights of theirs. Some arithmetic characters of least squares collocation are a a nalyzed and some problems are noted in arithmetic realization through testing. It is indicate that the resolution of inverse covariance matrix is not a key problem at all and the main mission is to study more efficient, more exact experiential covariance function for least squares collocation in local gravity field.

Key words: least square collocation; local gravity field; covariance function

About the first author: ZHANG Chuanyin, professor. His main research orientation is geodesy and gravity field.
E-mail: zhangchy@casm.ac.cn

(上接第 430 页)

[3] Parkinson B W, Jr Spilker J J. Global Positioning System: Theory and Applications[M]. Washington: AIAA, 1996

[4] Morea M C, Davis E P, Carpenter J R. Results from the GPS Flight Experiments on the High Earth Orbit AMSAT OSCAR-40 Spacecraft [C]. ION GPS-02, Portland, Oregon, 2002

[5] Collins P, Stewart P. Memorandum: GPS SNR

Observations[R]. New Brunswick: Geodetic Research Laboratory, UNB, 1999

[6] Herring T. SNR Analysis Package[OL]. <http://www-gpsg.mit.edu/~tah/snrprog/>, 2006

第一作者简介:黄劲松,副教授,主要从事卫星导航定位研究。
E-mail:jshuang@sgg.whu.edu.cn

On C/N₀ of Received GPS Signal

HUANG Jinsong¹ LIU Junning¹ LIU Chengbao¹ TIAN Hui¹

(1 School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: The C/N₀ of received GPS signal is described. The concept of C/N₀ pattern is introduced. The relationship between the C/N₀ pattern and gain pattern is derived. The time variation and direction variation of atmospheric loss are evaluated initially. The concept of C/N₀ anomaly and the C/N₀ anomaly pattern are introduced. The orientation of passive interference could be determined with the C/N₀ anomaly pattern.

Key words: GPS; antenna gain; C/N₀; C/N₀ anomaly; pattern

About the first author: HUANG Jinsong, associate professor, engaged in satellite navigation and positioning.
E-mail: jshuang@sgg.whu.edu.cn