

GPS 卫星位置解算算法研究

姚长虹

(中国空空导弹研究院, 洛阳 471009)

摘要 GPS 定位中需要计算出卫星位置信息来确定用户位置。为快速准确定位, 必须得到精确的卫星位置。分析了 GPS 广播星历, 提出了一种利用广播星历和迭代法计算 GPS 卫星位置的方法, 该方法解算速度快、准确度高。

关键词 GPS 广播星历 迭代法 卫星位置

中图分类号 V474.25; **文献标志码** A

GPS 全球卫星定位系统是美国国防部研制的新一代卫星导航定位系统, 向具有适当接收设备的全球范围内的用户提供精确、连续的三维位置和速度信息。GPS 利用单向到达时间(TOA)测距, 卫星采用码分多址(CDMA)技术在广播测距码和导航数据。导航数据为接收机提供了确定卫星在信号发射时刻的位置的手段, 而测距码使用户接收机能够确定信号的传输延时, 从而确定卫星到用户的距离。GPS 用户为了确定自己的位置, 必须得到 GPS 卫星的精确位置信息, 因此, GPS 卫星位置计算是进行 GPS 导航定位的关键环节^[1,2]。

由于 GPS 接收机大都来自国外, 因此国内关于 GPS 卫星位置解算的文章较少。本文介绍了一种利用广播星历并采用迭代法进行 GPS 卫星位置解算的算法。

1 GPS 星历数据

GPS 接收机给出的卫星星历包含卫星的位置信息, 但没有给出卫星的确切位置, 这就需要根据卫星星历来计算卫星相对于地心坐标系和载体坐标系的位置, 直观反映出卫星与接收机之间的相对空间关系。表 1 给出了参与卫星位置计算的星历

参数^[3-4]。

表 1 GPS 星历数据定义

序号	参数代号	定义
1	t_{oc}	星历的参考时刻
2	\sqrt{a}	半长轴的平方根
3	e	偏心率
4	Ω_e	升交点经度(在每星期历月上)
5	ω	近地点幅角(在 t_{oc} 时)
6	M_0	平近点角(在 t_{oc} 时)
7	$idot$	倾角的速率
8	$\dot{\Omega}$	升交点经度的校正值
9	Δn	对平均角速度的校正值
10	$a_{j_0}, a_{j_1}, a_{j_2}, t_{oc}$	卫星时钟修正项
11	T_{GD}	估计群时延误差
12	C_{uc}	对纬度幅角余弦的校正值
13	C_{us}	对纬度幅角正弦的校正值
14	C_{rc}	对轨道半径余弦的校正值
15	C_{rs}	对轨道半径正弦的校正值
16	C_{ic}	对倾角余弦的校正值
17	C_{is}	对倾角正弦的校正值

2 位置解算算法

不同卫星的 GPS 信号到达接收机的时间不同, 因此卫星信号到达接收机的传输时间等于伪距除以光速:

$$T_{\text{relative transit time}} = R_{\text{pseudo range}}/c \quad (1)$$

2009年8月19日收到

作者简介: 姚长虹(1973—), 女, 河南洛阳人, 高级工程师, 研究方向: 空空导弹遥测和记录技术。E-mail: yaoy612@yahoo.com。

式(1)中: $T_{\text{relative transit time}}$ —卫星信号到达接收机的传输时间;

$R_{\text{pseudo rang}}$ —伪距;

c —光速,数值为 2.99792458×10^8 m/s。

由于不同卫星的 GPS 信号的传输时间不同,故不同卫星 GPS 信号的发射时间也不同。经传输时间修正后的发射时间 t_c 的求解方程如下:

$$t_c = TOW - T_{\text{relative transit time}} \quad (2)$$

式(2)中: TOW —星期时间;

用得到的星历数据计算出卫星平均角速度:

$$n = \sqrt{\frac{\mu}{a^3}} + \Delta n \quad (3)$$

式(3)中: μ —地球万有引力常数,数值为 3.986005×10^{14} m³/s²;

a —卫星轨道的长半轴。应注意,星历数据中是 \sqrt{a} 。

首先,对发射时刻 t_c 的 GPS 时进行修正。若 $t_c - t_{oc} > 302\,400$, 则 $t_c \Rightarrow t_c - 604\,800$; 若 $t_c - t_{oc} < -302\,400$, 则 $t_c \Rightarrow t_c + 604\,800$ 。式中 t_c 由式(2)获得。

接着,求出平近点角 M :

$$M = M_0 + n(t_c - t_{oc}) \quad (4)$$

式(4)中 n 由式(3)获得。

根据式(4),求出偏近点角 E :

$$E = M + e \sin E \quad (5)$$

式(5)中 M 由式(4)获得。

由于式(5)是非线性的,因此需要用迭代法求出 E 。迭代步骤如下:

1) 设置偏近点角 E_0 初始值,一般设为平近点角 M ;

2) 使用式(5)计算出结果,然后计算结果和 E_0 的均方差 ε ;

3) 将 ε 与门限比较,如果大于门限,将计算结果代入式(5),继续重复步骤 1),如果小于门限,结束迭代。

此时就可以算出卫星到地球的距离:

$$r = a(1 - e \cos E) \quad (6)$$

式(6)中 E 由式(5)获得。

接下来计算相对论修正项:

$$\Delta t_r = Fe \sqrt{a} \sin E \quad (7)$$

式(7)中: F —常数,数值为 $-4.442\,807\,633 \times 10^{-10}$ s/m^{1/2};

E 由式(5)获得。

总的时间修正项由式(8)就可以得到:

$$\Delta t = a_{f_0} + a_{f_1}(t_c - t_{oc}) + a_{f_2}(t_c - t_{oc})^2 + \Delta t_r - T_{CD} \quad (8)$$

式(8)中 t_c 由式(2)获得, Δt_r 由式(7)获得。

此时,对发射时间的 GPS 时间进行再一次修正:

$$t = t_c - \Delta t \quad (9)$$

式(9)中 t_c 由式(2)获得, Δt 由式(8)获得。

真近点角可由式(10)求出:

$$v_1 = \cos^{-1} \left(\frac{\cos E - e}{1 - e \cos E} \right);$$

$$v_2 = \sin^{-1} \left(\frac{\sqrt{1 - e^2} \sin E}{1 - e \cos E} \right);$$

$$v = v_1 \text{sign}(v_2) \quad (10)$$

式(10)中: $\text{sign}(\cdot)$ —决定 \cdot 的符号,等于 +1 或者 -1。

由此可得角度 φ :

$$\varphi = v + \omega \quad (11)$$

式(11)中: v —真近点角,由式(10)计算得出。

需要的修正项如式(12)所示:

$$\delta_\varphi = C_{us} \sin 2\varphi + C_{uc} \cos 2\varphi;$$

$$\delta_r = C_{rs} \sin 2\varphi + C_{rc} \cos 2\varphi;$$

$$\delta_i = C_{is} \sin 2\varphi + C_{ic} \cos 2\varphi \quad (12)$$

这三项修正项用于修正下列项:

$$\varphi \Rightarrow \varphi + \delta_\varphi;$$

$$r \Rightarrow r + \delta_r;$$

$$i \Rightarrow i + \delta_i + \text{idot}(t - t_{oc}) \quad (13)$$

式(13)中: r —卫星到地心的距离,由式(6)计算出;

升交点和格林威治子午线之间的夹角 Ω_{er} 可由下式给出:

$$\Omega_{er} = \Omega_e + \dot{\Omega}(t - t_{oc}) - \dot{\Omega}_{ie} t \quad (14)$$

式(14)中: $\dot{\Omega}_{ie}$ —WGS-84 坐标系中的地球自转速

率,数值为 $7.292\ 115\ 146\ 7 \times 10^{-5}$ rad/s ;

最后将参数计算结果待入以下方程,求出卫星的位置:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r\cos\Omega_{er}\cos\varphi - r\sin\Omega_{er}\cos i\sin\varphi \\ r\sin\Omega_{er}\cos\varphi - r\cos\Omega_{er}\cos i\sin\varphi \\ r\sin i\sin\varphi \end{bmatrix} \quad (15)$$

3 算法验证

首先读取导航电文,提取所需的广播星历,再用广播星历中的参数计算卫星位置,从而验证利用广播星历计算卫星位置的精度。

GPS 接收机为 JNS—100,以 2009 年 7 月 5 日广播星历为例计算出的卫星位置。星历预报见表 2,

表 2 星历预报值

卫星号	俯仰角(高度角)	方位角
3	56.5°	181.8°
6	65.3°	148.4°
13	31.6°	314.7°
16	58.6°	27.0°
19	29.0°	188.6°
20	6.6°	232.0°
21	6.6°	67.5°
23	60.1°	275.9°
25	24.4°	310.1°
31	27.8°	102.9°

利用以上广播星历计算卫星位置,误差统计结果见表 3。

表 3 利用广播星历计算卫星位置误差统计

卫星号	高度角误	高度角误差	方位角误	方位角误差
	差值(°)	均方差(°)	差值(°)	均方差(°)
3	0.00865366	0.00568425	0.00562256	0.00375626
6	-0.00244258	0.00095362	-0.01251936	0.00120250
13	-0.00474852	0.00657853	-0.00835269	0.00715236
16	0.00582631	0.0004525	-0.00854269	0.00039629
19	-0.00893778	0.0032523	0.0193656	0.00326258
20	-0.01152695	0.00574656	0.00485824	0.00623606
21	0.01952641	0.00062588	-0.00623559	0.00082002
23	0.00428536	0.00784584	-0.0053628	0.00830506
25	-0.00956966	0.00025425	0.00596356	0.00031035
31	-0.00736528	0.00562387	-0.00263559	0.00421520

从表 3 可以看出,利用广播星历计算卫星位置可以精确到小数点后三位。

4 结论

本文研究了基于广播星历的 GPS 卫星位置解算方法,该算法模型简单,计算量小,采用迭代方式进行具有承袭性,程序灵活方便,实验结果表明,此算法是正确的、可行的,为 GPS 接收机研究打下了基础。

参 考 文 献

- 1 Kaplan. E D. GPS 原理与应用. 寇艳红,译. 北京:电子工业出版社,2007:23—31
- 2 Borre. K 软件定义的 GPS 和伽利略接收机. 杨东凯,张飞丹,张波译. 北京:国防工业出版社,2009:103—107
- 3 周红进,许江宁,李方能. GPS 卫星位置计算及精度鉴定方法研究. 计算机测量与控制,2005;13(11):1177—1179
- 4 陈远鸿. 基于精密星历的计算卫星位置的方法. 测绘信息与工程,2008;33(2):10—11

Research on GPS Position Calculation Arithmetic

YAO Chang-hong, CHAI Jun-shuan

(China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, P. R. China)

[**Abstract**] GPS orientation need calculate GPS satellite position information which can ascertain user position. In order to orient fleetly and veraciously, user must get GPS satellite position exactly. The paper analyses the GPS broadcast ephemeris, and presented a new method which calculate GPS satellite position utilizing the GPS broadcast ephemeris and iterative technique. The way has fast calculation speed and high nicety.

[**Key words**] GPS broadcast ephemeris iterative technique satellite position

(上接第 1906 页)

Study on Model of High Speed Railway Wheel Ovalization

ZHANG Xue-shan, ZHANG Jian¹, ZHANG Jun¹

(School of Civil and Safety Engineering, School of Traffic, Transportation¹, Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, P. R. China)

[**Abstract**] Periodic non-roundness of railway wheels will cause a series of variety on vehicle-track coupling system dynamic responses, which has a detrimental influence on both track and vehicle components. In order to guarantee safety and stability, and to minimize costs for repair and maintenance, it is desirable to make a standard determining the range of out-of-round, and to detect, remove and repair the non-roundness wheels in time. The wheel ovalization is analyzed, which is called the second order periodic non-roundness of wheels. A new mathematical model is put forward numerically to simulate the wheel ovalization. In the numerical simulation, the dynamic model of a half railway vehicle coupled with a tangent track is employed. Using the new numerical method investigates vehicle-track coupling system dynamic responses including lateral and vertical displacement of wheelsets and the vehicle, lateral and vertical vibration acceleration of the track at different phase angle of the two side wheels of the same wheelset, which are compared with that of the traditional model. The numerical results show that the discipline and frequency of dynamic responses are accordant, amplitude and phase of lateral dynamic responses are different. It is concluded the traditional track geometric irregularity excitation model does not simulate the effect of periodic wheels ovalization on vehicle-track coupling system dynamic behavior truly, the new model is more accurate and reasonable.

[**Key words**] high speed railway wheels ovalization track geometric irregularity vehicle-track coupling system dynamic response