

Study of the Method for High-Precision Real-Time Positioning of GPS

YAN Leibing, TIAN Fengqing

Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang, China

Abstract: Global positioning system was used more and more widely in all aspects, but as a result of the atmosphere changes, electric wave spread more slowly and ray become curved-ray, so bring refractive errors. Therefore, to improve the accuracy of GPS positioning navigation, it is necessary to make radiowave refractive correction. In this paper, we measure atmosphere radiation brightness temperature by microwave remote sensing, and get refractive errors from radiation information of radiowave refractive, accordingly, We put forward the method of radiowave refractive errors correction, using ground meteorological parameters and microwave remote sensing real-time measurement, the result of precision test indicate may improve navigation and positioning accuracy of the GPS.

Keywords: global position system; microwave remote sensing; radiowave refractive errors

高精度 GPS 实时定位方法的研究

闫雷兵, 田丰庆

河南科技学院机电学院, 新乡, 中国, 453003

摘要: GPS 全球定位系统在各方面的用途越来越广,但是由于大气介质的变化使得电波传播速度减慢,射线发生弯曲,从而产生折射误差。因此要提高 GPS 的定位导航精度,就必须进行电波折射误差修正。本文利用微波遥感方法测量大气辐射亮温,再从辐射信息中得到电波的折射误差量,从而提出了利用地面气象参数和微波遥感测量进行实时电波折射误差修正方法,并进行了精度检验结果表明可进一步提高 GPS 的导航定位精度。

关键词: GPS, 微波遥感, 电波折射误差

1 引言

全球定位系统(GPS)^[1]在当今社会显示出了越来越广泛的用途。GPS 应用是一项渗透力很强的技术,在为测绘、地质地矿探测、交通、航海等应用领域带来了可观经济效益和社会效益的同时,它还将牵引接收机制造业、通信设备制造业、地理信息产品行业的发展,成为信息产业新的经济增长点。因此,合理地应用 GPS 系统,并尽可能地提高其定位精度可为我国的国防和国民经济提供更高,更好的服务。但是大气是不均匀介质,当电波在大气中传播时,大气介质必然使得电波产生折射效应,以致传播速度小于光速,传播路径产生弯曲,最终使得在无线电导航定位时产生误差,因此提高 GPS 定位精度的途径之一就是要进行电波折射误差修正。

引起电波折射效应的主要因素是随空间和时间不停变化的大气折射率。因此要进行高精度的电波折射误差修正必须实时测量出电波射线经过路径上的大气

折射率。在目前常用的电波折射误差修正方法中,其大气结构是由探空仪进行测量得到的。但是,由于常用探空仪只能测量出大气折射率随高度的变化,而无法测量出大气折射率的水平变化。且每一次探空测量一般需要 30min 左右的时间,从而使空中大气随时间的变化不能精确得到。这样,就无法获得精确的大气结构,从而限制了实时电波折射误差修正精度的提高。

用微波遥感方法测量大气辐射亮温,再从辐射信息中得到电波的折射误差量,从而进行电波折射误差修正的方法是提高实时电波折射误差修正的有效方法。此方法的主要优点是:(1)直接在电波射线经过路径上进行大气遥感测量,不需要大气水平均匀的假设,即遥感信息中包含了大气的垂直和水平变化情况。(2)能够进行实时测量,可克服大气的时变误差。(3)具有全天候性能,可在任何天气情况下进行测量。

本文主要介绍了用地面气象参数和微波遥感技术来进行 GPS 实时电波折射误差修正的方法,并进行了

精度检验。

2 实时电波折射误差修正

从文献[2]可知,电波在低层大气中传播时产生的折射误差为:

$$\Delta R \approx \int_0^{h_i} (n-1) \csc \theta dh + \left[\int_0^{h_i} \csc \theta dh - R_0 \right] \quad (1)$$

式中: ΔR 为电波折射误差, km; h_i 为目标离地高度, km; θ 为电波射线仰角, deg; R_0 为目标到测站的真实距离, km; n 为大气折射指数。

大气折射指数 n 与折射率 N 的关系^[2]为:

$$N = (n-1) \times 10^6 \quad (2)$$

(1)式中的第一项由电波传播速度延迟引起的电波折射误差,第二项为电波射线弯曲引起的电波折射误差。通常前者比后者大得多,尤其在 3° 以上仰角,后者完全可以忽略。由于 GPS 定位中仰角一般都较大,因此这里可认为电波折射误差 ΔR 近似为:

$$\Delta R \approx \int_0^{h_i} (n-1) \csc \theta dh \approx 10^{-6} \csc \theta \int_0^{h_i} N dh \quad (3)$$

从大气物理学可知,大气折射率由其干项 N_d 和湿项 N_w 组成,即

$$N_d = 77.6 \times \frac{P}{T} \quad (4)$$

$$N = N_d + N_w \quad (5)$$

$$N_w = 1721.4 \times \frac{\rho_w}{T} \quad (6)$$

其中, N_d 为大气折射率干项, N_w 为大气折射率湿项, P 为大气压强, hPa; T 为大气温度, K, ρ_w 为水汽密度, g/m^3 。

则(3)式可写成:

$$\Delta R \approx 10^{-6} \csc \theta \left[\int_0^{h_i} N_d ds + \int_0^{h_i} N_w ds \right] \quad (7)$$

根据大气物理和结构剖面的理论研究及实际测量得出,干项 N_d 剖面有规律且较稳定,因此(7)式中折射率干项 N_d 的积分可由 GPS 接收站所在地面气象参数比较准确地估算出来^[3,4]。而折射率湿项 N_w 剖面不规则且不稳定,其随时间和空间的多变性就不能简单地由地面气象参数而准确的计算。但根据大气辐射传输理论,大气辐射亮度温度与大气结构密切相关,因此就可以选择对大气中水汽含量敏感的微波辐射计,直接在雷达到目标的传播路径上测量大气辐射亮度来修正大气折射误差湿项部分。由于微波辐射计是直接电波传播路径上取得大气折射修正信息样品的,不

受大气水平不均匀性和时变特性的影响,因此可以提高修正精度,并且可进行实时计算。根据文献[5]介绍,用微波辐射计测量参数进行电波距离折射误差修正的残差可以比以常规气象探空仪数据为基础的公式修正法降低 1/3~2/3。

由(6)式可见大气折射率湿项 N_w 与大气水汽密度 ρ_w 有关,而大气中的水汽吸收系数 α_w 也与大气中的水汽密度 ρ_w 有关,因此就可以通过水汽密度 ρ_w 建立起 N_w 和 α_w 的相关表达式。其中水汽吸收系数按文献[6]中有关公式计算,从而可以得到:

$$\alpha_w = g \cdot N_w \quad (8)$$

式中:

$$g = 1.162 \times 10^{-3} T f^2 \left(\frac{300}{T} \right)^{3/2} \Delta f \times \left[\left(\frac{300}{T} \right)^{e^{-644/T}} \cdot \frac{1}{(494.4 - f^2)^2 + \Delta f^2 \Delta f^2} + 1.2 \times 10^{-6} \right] \quad (9)$$

由(8)式就可以建立起沿电波传播路径大气水汽吸收和折射误差湿项的联系方程:

$$\int_0^R \alpha_w dR = \int_0^R g \cdot N_w dR \quad (10)$$

由(9)式可以看出, g 函数不但与频率 f 有关,而且也与温度 T 和压力 P 有关,可见 g 函数不是一个常数而随高度而变化。但由试验研究表明可以在水汽吸收线频率附近选择一个最佳频率 f^* ,在这个频率上 g 随高度的变化很小而接近一个常数,并且 g 可由地面上气象参数计算,这个频率称辐射计最佳工作频率 f^* ,这时的 g 函数记作 g^* 时,方程(10)可改写成:

$$\int_0^R \alpha_w dR = g^* \int_0^R N_w dR \quad (11)$$

根据低层大气辐射传输方程,利用积分中值定理就可得到大气吸收和大气辐射的联系方程

$$\int_0^R \alpha dR = -\ln \left(\frac{1 - T_B / T_m}{1 - T_s / T_m} \right) \quad (12)$$

式中: α 为大气吸收系数,由干项吸收系数 α_d 和湿项吸收系数 α_w 组成:

$$\alpha = \alpha_d + \alpha_w \quad (13)$$

T_B 为大气辐射亮度温度, T_s 为宇宙背景辐射亮度温度, T_m 为大气平均辐射温度。

由(11)、(12)和(13)式就可以导出:

$$\int_0^R N_w dR = \frac{1}{g^*} \left[-\ln \left(\frac{1-T_B/T_m}{1-T_s/T_m} \right) - \tau_d \right] \quad (14)$$

式中:

$$\tau_d = \int_0^R \alpha_d dR \quad (15)$$

由于(14)、(15)式中的积分上限是辐射计到被跟踪目标的总距离,实际上辐射计测量的是到无穷远处,因此(14)、(15)式在实际测量中写作:

$$\begin{aligned} \Delta R_w &= 10^{-6} \csc \theta \int_0^\infty N_w dh \\ &= \frac{1}{g^*} \left[-\ln \left(\frac{1-T_B/T_m}{1-T_s/T_m} \right) - \tau_d \right] \end{aligned} \quad (16)$$

$$\tau_d = \csc \theta \int_0^\infty \alpha_d dh \quad (17)$$

由于 GPS 卫星的高度大约为 20186.8km,则大气折射率的湿项 N_w 引起的距离误差 ΔR_{wGPS} 应为:

$$\Delta R_{wGPS} = \Delta R_w - 10^{-6} \csc \theta \int_{20186.8}^\infty N_w dh \quad (18)$$

从理论分析和大量的实际测量可知,大气在十几公里高度以上已经很稀薄,因此折射率湿项 N_w 在十几公里高度上很小,它引起的电波折射误差很小,完全可以忽略不计,这样就可以用辐射计测量得到的大气折射率湿项 N_w 引起的距离误差 ΔR_w 代替 ΔR_{wGPS} 。最后用文献[3,4]提供的计算大气折射率干项 N_d 引起的距离误差 ΔR_d 和辐射计测量得到的大气折射率湿项 N_w 引起的距离误差 ΔR_w 求得 GPS 定位中总的大气折射误差,从而可进行高精度实时电波折射误差修正。

3 精度检验

为了检验进行 GPS 定位中实时电波折射误差修正方法的精度,选用新乡地区在 2008 年的探空数据和单频辐射计测量结果。辐射计测量与探空测量同时进行。单频辐射计的中心工作频率为 23.75GHz,天线采用口径为 1.5m 的卡塞格伦天线,辐射计接收机输出与输入线性相关,相关系数为 0.999。系统定标采用常温黑体负载和浸入液氮中的黑体负载在天线馈源口面进行两点定标,接收机的灵敏度优于 0.3K。用探空资料采用射线描迹法^[6]进行电波折射误差计算,这种计算是目前认可精度较高的方法。然后用本文提出的方法进行电波折射误差计算,从而可比较出对电波折射误差修正后的定位精度与修正前的定位精度的差别,结果见表 1。

Table 1. Test the accuracy of wave refraction error
表 1. 电波折射误差的精度检验(m)

仰角 deg	2008 年 6 月 25 日 09:40 T=300.2,P=997,u=64			2008 年 7 月 1 日 09:30 T=301.4,P=999,u=67		
	ΔR_1	ΔR_2	Δ	ΔR_1	ΔR_2	Δ
5	25.112	23.871	1.241	22.900	21.858	1.042
10	13.402	12.481	0.921	12.069	11.178	0.891
20	6.940	6.169	0.771	6.212	5.489	0.723
30	4.764	4.196	0.568	4.260	3.737	0.523
40	3.710	3.321	0.389	3.317	3.018	0.299
50	3.115	2.914	0.201	2.784	2.595	0.189
60	2.756	2.647	0.109	2.463	2.363	0.100
70	2.541	2.474	0.067	2.270	2.208	0.062
80	2.424	2.480	0.044	2.167	2.126	0.041
90	2.388	2.367	0.021	2.134	2.115	0.019

ΔR_1 为由探测数据计算的距离误差, ΔR_2 为由本文提出的计算方法得到的距离误差, Δ 为两种计算值的差。T 为地面温度,k, P 为地面气压, hPa, u 为地面相对湿度%。

4 结论语

利用对大气中水汽含量敏感微波辐射计,采用合适的中心工作频率,就可以测量大气辐射亮温来修正大气折射误差,用修正之后的数值来计算。通过表 1 的精度检验可得到以下结论:

- 1) 采用由地面气象数据和用微波辐射计遥感测量参数来进行 GPS 定位中的电波折射误差修正的精度是较高的
 - 2) 根据微波辐射计的特性^[7],这种测量方法不受天气的影响,可在任何天气情况下进行测量。
 - 3) 微波辐射计是直接在电波传播路径上取得大气折射修正信息样品的,不受大气水平不均匀性和时变特性的影响,并且可进行实时计算,修正误差。
- 总之,本文提出的计算方法能够提高 GPS 的定位精度,并且还可以对定位进行实时修正。但是还存在一些问题,定位精度的提高有限,如何较快确定单频辐射计的最佳中心工作频率,这些还有待于进一步的研究。

References (参考文献)

[1] Wang huinan. Principle and Application of GPS Navigation[M]. Beijing:Science Press. 2003.
王惠南. GPS 导航原理与应用[M]. 北京:科学出版社. 2003.

[2] Xie yixi, J. Lafeiniete,J.P. Radio wave propagation-ultrashortwave,microwave,millimeter-wave[J].MBeijing: Electronic Industry Press,1990.
谢益溪,J.拉菲涅特,J.P.蒙等.电波传播—超短波、微波、毫米波[M].北京:电子工业出版社,1990.

[3] Zhang yu,Yan leinbing. The lower the airwaves of error of refraction correction formula[J], Fire Control & Command Control,2007,32(9):119-121.
张瑜,闫雷兵.低层大气电波折射修正公式误差的研究[J],火力与指挥控制,2007,32(9):119-121.

- [4] Hopfield.H.S. Troposphere effect on electromagnetic measured range: Prediction from surface weather data (J).Radio Science. 2006, 6(3): 357-367.
- [5] M c Millan J C. Dynamic GPS Attitude Performance Using IW GPS Reference. ION GPS'94, Salt Lake City, September, 1994:21-23.
- [6] Huang jie. Speed and Position of radio wave propagation in the troposphere error correction[J], radio wave and antenna, 1993, (3-4): 10-28.
黄捷. 无线电测速定位的对流层电波传播误差修正[J],电波与天线,1993, (3-4):10-28.
- [7] Ying guoling,Zhou changbao,Chen huaiqian. microwave radiometer[M],Beijing: China Ocean Press,1992.
应国玲,周长宝,陈怀迁. 微波辐射计[M]. 北京:海洋出版社.1992.