

水汽辐射计资料在 GPS 精密定位中的应用

陈俊平¹, 李光炎¹, 王解先^{1,2}

(1. 同济大学 测量系, 上海 200092; 2. 现代工程测量国家测绘局重点实验室, 上海 200092)

The Application of Water Vapor Radiometer Data in GPS Precise Positioning

CHEN Jun-ping, LI Guang-yan, WANG Jie-xian

摘要: 针对 GPS 基线解算中的大气延迟误差, 引用并址的气象数据和水汽辐射计的水汽数据, 使用 GAMIT 软件进行基线解算。通过几组结果的对比分析, 探讨大气延迟的影响。结果表明引入水汽辐射计的水汽观测数据, 对于 10⁶ m 的基线能够产生厘米级的差异。

关键词: GAMIT; 水汽辐射计; 基线

一、引言

GPS 信号大气延迟分为电离层延迟和对流层延迟两部分。其中, 电离层延迟可通过双频技术完全消除; 对流层延迟分为两个部分, 其中由大气中所有大气分子的偏振位移引起的称为干项, 由水分子的偶极距引起的称为湿项。干项大约占对流层延迟的 80%~90%, 干项比较稳定, 用合适的模型可得到较好的改正(在天顶方向能够以 1% 的精度估算^[1])。湿项引起的附加延迟要小得多, 只有几十个厘米, 但其变化很不规则, 目前没有高精度的改正模型(模型只能以 10%~20% 的精度估算^[2])。利用水汽辐射计(WVR)可以精确地测定其影响, 其精度优于 ±1 cm。

针对以上的情况, 为了研究对流层延迟对 GPS 精密定位的影响, 本文收集了水汽辐射计观测数据和并址的 GPS 观测数据、气象数据, 分三种不同情况运用 GAMIT 软件进行基线解算, 得到了气象文件以及水汽辐射计观测数据对于高精度 GPS 基线解算的影响。

二、对流层延迟改正模型

常用的对流层改正模型有 Marini 公式、霍普菲尔德(Hopfield)改正模型、萨斯塔莫宁(Saastamoinen)模型等^[3]。GAMIT 软件中使用的改正模型为萨斯塔莫宁模型。其公式为

$$\Delta S = \frac{0.002277}{\sin E'} \left[P_S + \left(\frac{1.255}{T_S} + 0.05 \right) \right] e_s - \frac{a}{\tan^2 E'}$$

其中, $a = 1.16 - 0.15 \times 10^{-3} h_S + 0.716 \times 10^{-8} h_S^2$ (h_S 为测站高度); ΔS 为对流层折射改正; T_S 为干温, P_S 为气压, 可由气象文件得到; e_s 为水气压, 无法直接测得; E' 为高度角 E 的改正值。 e_s, E' 的计算式

$$e_s = RH \exp(-37.2465 + 0.213166 T_S - 0.000256908 T_S^2)$$

式中, $T_S = t_S + 273.16^\circ$, 为绝对温度; RH 为气象观测中的相对湿度。

$$E' = E + \Delta E = E + \frac{16.00''}{T_S} \left[P_S + \frac{4.810 e_s}{T_S} \right] \cot E$$

GAMIT 软件中对流层延迟计算使用的是固定的气象元素, 即温度为 20^{°C}, 大气压为 1013.25 mb, 相对湿度为 50%。本文试验中采用的是并址的 GPS 观测站实测气象数据, 因而能够更为精确地计算干分量。

对于并址的 GPS 台站, 其气象观测文件(MET data)记录了水汽辐射计附近的气象元素, 包括大气压(巴)、温度(°C)、露点(°C)和相对湿度(%)。表 1 为气象观测文件的具体格式, 其采样间隔为 15 min。

三、水汽辐射计

水汽辐射计是通过实际测定卫星信号传播路径上水汽对信号传播的影响。水汽辐射计一般至少使用两个频率, 一个在 22.235 GHz 的水汽吸收线附近, 另一个为 31.4 GHz, 对凝结的液态水很敏感, 利用水汽辐射计求得的对流层湿分量的精度可优于 ±1 cm。

收稿日期: 2005-02-03

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40234039)

作者简介: 陈俊平(1980), 男, 江西宜春人, 博士生, 主要从事 GPS 理论与应用研究。

表 2 为水汽辐射计的具体记录格式, 其采样间隔接近于 1 min.

表 1 气象观测文件(MET)数据记录格式

Time	Pressure	Temperature	Dew Point	Humidity
5/ 25/ 04 12: 00: 01 AM	0. 885	10. 1	1. 9	56. 8
5/ 25/ 04 12: 15: 01 AM	0. 885	9. 4	2. 6	62. 6
5/ 25/ 04 12: 30: 00 AM	0. 885	9. 2	2. 4	62. 3
5/ 25/ 04 12: 45: 00 AM	0. 885	9. 0	2. 1	61. 8

* bar 巴, 1 bar= 100 kPa.

表 2 水汽辐射计观测文件(WVR)观测数据记录格式

MO DY YR	HR MN SC	ID	<i>Azact</i>	<i>Elact</i>	<i>Tb23</i>	<i>Tb31</i>	<i>VDly/ cm</i>	<i>zVDly/ cm</i>	<i>Liq/ cm</i>	<i>zLDly/ cm</i>
05/25/04	00:00:16	25	355.4	162.9	63.95	42.35	23.17	6.81	0.020 0	0.008 5
05/25/04	00:01:37	18	98.4	17.6	63.21	41.96	22.80	6.88	0.020 0	0.008 7
05/25/04	00:02:28	21	94.2	54.0	24.83	17.43	7.45	6.03	0.006 6	0.007 7
05/25/04	00:03:33	9	42.1	19.4	58.78	41.23	20.06	6.65	0.022 9	0.011 0

表 2 中, MO, DY, YR 分别为月、日、年; HR, MN, SC 分别为时、分、秒; ID 为观测的卫星号; *Azact*, *Elact* 分别为水汽辐射计的方位角和高度角; *Tb23*, *Tb31* 分别为水汽辐射计两个频段的温度; *Vdly/ cm* 为电磁波传播方向的湿大气延迟, 单位为 cm; *zVDly/ cm* 为天顶方向的湿大气延迟, 单位为 cm; *Liq/ cm* 为空气中的水汽总量, 尤其在水汽辐射计窗口附近的水汽总量, 单位为 cm; *zLDly/ cm* 为天顶方向的水汽含量, 单位为 cm.

在 GAMIT 软件中, 原先是没有引入水汽文件的, 所以引入水汽文件后要对 GAMIT 源程序进行修改. 修改后的程序需要用到的是天顶方向湿大气延迟 (*zVDly*). GAMIT 引入水汽文件后, 原来的湿大气延迟部分就不用气象文件进行估计, 而是直接把水汽文件中的观测量当成已知值固定, 不再进行求解.

四、数据处理与分析

为了研究对流层延迟对 GPS 精密定位的影响, 对不同的数据进行了试验. 试验的思路是在某一站引入水汽文件和气象文件, 考察引入此两种数据后计算得到的结果. 试验设计为:

1. 不引用气象文件和水汽文件进行处理, 此时

对流层延迟作为求解参数, 采用的初值由 GAMIT 里面固定的参数和模型进行估计.

2. 引入气象文件进行处理, 此时对流层延迟作为求解参数, 采用的初值由并址的气象观测数据进行估计.

3. 在引入气象文件的基础上再引入水汽文件进行处理, 此时将对流层延迟进行固定, 作为已知值而不进行求解. 其中对流层延迟的干项部分由气象文件按照 SASS 模型计算求得, 湿项部分直接采用水汽辐射计水汽的观测数据, 其精度将优于 1%^[1].

以上过程第一、二种情况求得的对流层延迟由于没有直接的观测量, 因而解出的结果都是相对的, 第三种情况由于使用了实测的数据固定测站的对流层延迟, 因而所求出来的对流层具有绝对的意义.

试验中使用的水汽文件和气象文件来源于加拿大卡尔加里大学 UOFC 站, 并从 IGS 站下载了全球范围内的其他几个站点的数据: MDO1 (McDonald VLBA Si), SHAO (Shanghai), WTZR (Wettzell/Germany), RAMO (Mitzpe Ramon), BAY1 (Cold Bay, AK) 和 LAMP (Lampedusa), 这些站没有水汽数据.

按照上述试验设计过程用 GAMIT 软件进行处理, 求得三种情况下与 UOFC 有关的基线长如表 3 所示.

表3 不同情况求解的基线长度

m

基线	编号	无气象水汽文件时长度	有气象文件时长度	有气象水汽文件时长度
BAY1-UOFC	1	3 182 180.766 0	3 182 180.775 5	3 182 180.776 4
LAMP-UOFC	2	8 348 993.794 4	8 348 993.798 1	8 348 993.784 3
MDO1-UOFC	3	2 401 326.084 1	2 401 326.084 7	2 401 326.080 9
RAMO-UOFC	4	9 330 205.633 8	9 330 205.641 3	9 330 205.625 5
SHAO-UOFC	5	8 587 854.096 5	8 587 854.081 6	8 587 854.069 4
UOFC-WTZR	6	7 337 480.807 6	7 337 480.813 2	7 337 480.799 9

将引入气象以及水汽文件得到的基线减去没有引入这两种观测数据的结果,可以分别得到引入气象数据以及引入气象和水汽数据后基线及其分量的变化。如图1、图2所示。

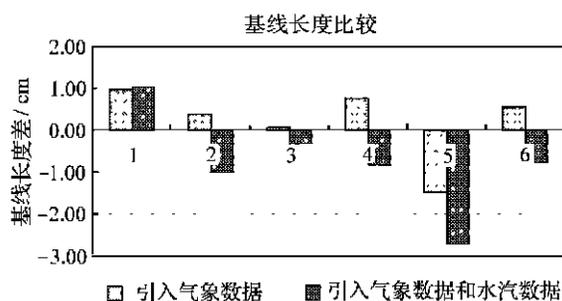


图1 引入不同数据基线长度的变化

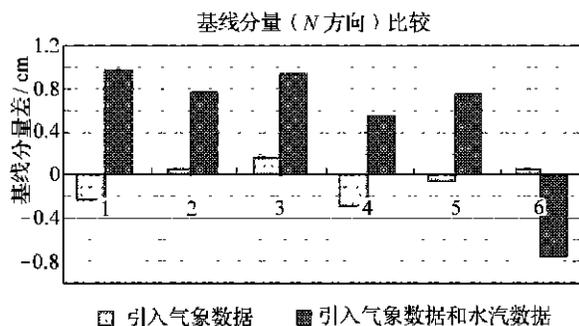


图2 引入不同数据基线分量的变化

图1、图2中1, 2, ..., 6代表的是基线的编号。从结果中可以看到:引入水汽数据对于基线在天顶方向(N方向)分量的影响比较明显,主要原因是引

入水汽数据后,精确得到了天顶方向的对流层延迟量。这同时也说明天顶湿延迟得到精确确定后,基线长度的改正有比较理想的效果。对于基线长,在增加了气象文件和水汽文件的情况下,10⁶ m级基线的差异为厘米级。

五、结论与建议

试验结果表明,引入气象文件和水汽文件后对最终的结果有一定的影响。对于长度为10⁶ m的基线,由于气象文件、水汽文件的引入,固定了对流层延迟改正,从而对基线的解算产生了厘米级的差异。并且从结果中可以看到,水汽资料的引入对于基线在天顶方向(N方向)的分量将产生比较大的影响。

由于国内没有水汽辐射计的资料,收集到的水汽辐射计数据很有限,所以引入水汽资料对于基线在各个分量的影响有没有具体的规律以及趋势,还有待进一步研究。另外,本试验使用的只是一个测站的水汽数据,在其他测站也有水汽数据的条件下,可以作进一步的分析。

参考文献:

- [1] 岳迎春, 吴北平, 李征航. 地基GPS技术探测大气水汽含量的误差分析[J]. GNSS World of China, 2003, (5).
- [2] 欧吉坤. GPS测量中的中性大气折射改正的研究[J]. 测绘学报, 1998, 27(2).
- [3] 刘基余, 李征航, 王跃虎, 等. 全球定位系统原理及其应用[M]. 北京: 测绘出版社, 1999.