

基于 MATALAB 的 GPS 仿真的研究



李春龙, 唐诗华, 张文静

(桂林理工大学 土木与建筑工程学院, 广西 桂林 541004)

摘要: 针对在 GPS 系统开发过程中出现的高复杂度、投资大、风险性高的问题, 通过建立 GPS 数学仿真模型, 且选用 MATLAB 来进行 GPS 仿真。理论分析和实验表明, 利用仿真技术不仅能优化系统设计、节省经费且能够提高工作效率。

关键词: GPS; GPS 仿真; MDE; 仿真模型

中图分类号: P228.42

文献标志码: B

文章编号: 1672-4623 (2010) 06-0077-03

Research of GPS Simulation Based on MATALAB

LI Chunlong, TANG Shihua, ZHANG Wenjing

(Department of Civil and Construction Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: For the problem of high complexity, high investment, high risk issues in the system development of GPS, This paper created the mathematical simulation model of GPS and used the MATLAB to carry out the simulation of GPS, theoretical analysis and experimental results showed that the use of simulation technology can not only optimize the system design, save funds and can also improve work efficiency.

Key words: GPS; GPS simulation; MDE; simulation model

随着 GPS 定位精度的提高、可靠性的增强^[1,6]、系统复杂性的提高等的要求, 相应的设计成本也随之提高, 因此, 需要有 GPS 仿真技术对其特性进行预先模拟。GPS 仿真的使用可以有效地降低成本, 并且可以仿真出一些在实际中无法实现的测量并得到较为逼真的数据。本文首先对多种测量模型建立了相应的数学方程; 然后利用 MATLAB^[3] 编译的卫星可见性预报程序成功实现模拟多种状态下的 GPS 仿真模拟^[4,5], 并通过比较 GPS 和 GPS+GALILEO 在各种观测条件下的精度并得到了相同条件下 GPS+GALILEO 观测精度要比 GPS 观测精度高有益结论。

1 GPS 仿真的模型的生成

1.1 GPS 仿真模型

系统仿真的目的是能使用户可以自己定义参数, 比如: 函数模型和随机模型、日期、时间、位置等, 并且可以根据需要选择不同的输出方式。这里考虑的四种情形是: 单点定位、单基线定位、只有一台固定接收机的单基线定位、只有一台流动接收机的单基线定位。并且, 由于不同的观测模型、不同的频率、载体不同的观测状态, 模型有可能不完全相同^[5]。对于单

点定位, 采用以下方程:

$$\begin{aligned} p_i^s(t) &= p^s(t) + cdt(t) + \mu_i I^s(t) + e_i^s(t) \\ \varphi_i^s(t) &= \rho^s(t) + cdt(t) - \mu_i I^s + \lambda_i N_i^s + \varepsilon_i^s(t) \end{aligned} \quad (1)$$

其中 $i=1, \dots, f$ 为观测的次数。各符号含义为: p_i^s : 码观测; φ_i^s : 载波相位观测; ρ_i^s : 卫星和接收机之间的距离; c : 光速; dt : 接收机延时误差; λ_i : 载体波长; $\mu_i = \lambda_i^2 / \lambda_1^2$; I^s : 电离层误差; N_i^s : 载波相位误差; e_i^s, ε_i^s : 噪声及其他误差。对流层延时、多路径效应、卫星钟误差以及仪器误差全部包括在 e_i^s, ε_i^s 中。方程 (1) 为非线性方程, 为了求取点位结果, 需要进行线性化, 线性化后的观测方程如下:

$$\begin{aligned} \Delta p_i^s &= -(u^s)^T \Delta b + (u^s)^T \Delta b^s + c\Delta dt + \mu_i \Delta I^s + e_i^s(t) \\ \Delta \varphi_i^s &= -(u^s)^T \Delta b + (u^s)^T \Delta b^s + c\Delta dt - \mu_i \Delta I^s + \lambda_i N_i^s + \varepsilon_i^s \end{aligned} \quad (2)$$

这里 Δ 是用来表明观测值与实际值的差值, u^s 表示接收机至卫星的观测向量, 点位坐标改正量为 Δb , 卫星坐标改正量为 Δb^s 。对于单点定位, 将参数中的轨道误差、电离层误差合并入噪声误差, 有:

$$\begin{aligned} \Delta p_i^s &= -(u^s)^T \Delta b + c\Delta dt + \nabla_{p,i}^s \\ \Delta \varphi_i^s &= -(u^s)^T \Delta b + c\Delta dt + \lambda_i N_i^s + \nabla_{\varphi,i}^s \end{aligned} \quad (3)$$

假定所有的卫星数据都是独立的, (3) 式可以简写为:

$$\begin{pmatrix} \Delta p_i^s \\ \Delta \phi_i^s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e_r \otimes [G_{e_m}] & 0 \\ e_r \otimes [G_{e_m}] & I_{mf} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta b \\ c\Delta t \\ \lambda_i N_i^s \end{pmatrix} \quad (4)$$

对于短距离,采用差分形式可以信号传播误差和卫星钟差,观测值方程就可以简写为:

$$p_i^{rs}(t) = p_i^{rs}(t) - \mu_i I^{rs}(t) = p^{rs}(t) + e_i^{rs}(t) \quad (5)$$

$$\phi_i^{rs}(t) = \phi_i^{rs}(t) + \mu_i I^{rs}(t) = p^{rs}(t) + \lambda_i N_i^{rs} + \varepsilon_i^{rs}(t)$$

利用符号 $y_i = (p_i(t)^T, \phi_i(t)^T)^T$, $\rho_t = \rho(t)$, $a = (\lambda_i N_i)^T$, $n_t = (e_i(t)^T, \varepsilon_i(t)^T)$ 对观测方程进行简化,得到更加简洁的形式如下:

$$y_t = (e_o \otimes I_{m-1})\rho_t + (e_2 \otimes I_{m-1})a + n_t \quad \text{with } C_2 = c_2 \otimes I_f \quad (6)$$

如码和载波相位观测均可用,则 $\omega = 2f$, 否则, $\omega = f$ 。仅码观测可用时,载波相位观测不存在 $y^{[5,6]}$ 。当两台接收机固定不动时,基线也不随时间改变:

$$y = [I_K \otimes (e_o \otimes \bar{G})] b_k + [e_k \otimes (C_2 \otimes I_{m-1})] a + n \quad (7)$$

随机模型为:

$$C_{P\Phi I} = C_{P\Phi} + s^2 \begin{pmatrix} \mu \\ -\mu \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mu \\ -\mu \end{pmatrix}^T \quad (8)$$

$\mu = (\mu_1, \dots, \mu_f)^T$ 和 s^2 是电离层影响的主要因素。双差观测的协方差矩阵为:

$$Q_y = I_K \otimes Q \quad \text{with } Q = C_{P\Phi I} \otimes E \quad (9)$$

$s^2 = (0)$, 当电离层延迟不存在时(较短基线)或者假设已知, $s^2 = 0$, 当电离层延迟完全未知时, s^2 趋向无穷大。这时的数值大小取决于基线长度。这里 $s = 0.68$, b 是以 m 为单位的基线长度。

1.2 GPS-GALILEO 联合观测模型

上述的 GPS 定位模型也 GPS 和 GALILEO 的集成系统。假定接收机可以同时观测和接收两个系统的信号,例如先收集 GPS 信号,而后 GALILEO(简称 GAL)信号。可以得到:

$$y_t = \begin{pmatrix} y_{GPS,t} \\ y_{GAL,t} \end{pmatrix} \quad (10)$$

相应设计矩阵 M 和 N 的协方差矩阵 Q 变为:

$$y_t = \begin{pmatrix} y_{GPS,t} \\ y_{GAL,t} \end{pmatrix} \quad (11)$$

$$M = \begin{pmatrix} e_o \otimes \bar{G}_{GPS} \\ e_o \otimes \bar{G}_{GAL} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_{GPS} \\ M_{GAL} \end{pmatrix} \quad (12)$$

$$N = \begin{pmatrix} C_2 \otimes I_{m_{GPS}-1} & \\ & C_2 \otimes I_{m_{GAL}-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} N_{GPS} & \\ & N_{GAL} \end{pmatrix} \quad (13)$$

$$Q = \begin{pmatrix} C_{P\Phi I, GPS} \otimes E_{GPS} & \\ & C_{P\Phi I, GAL} \otimes E_{GAL} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Q_{GPS} & \\ & Q_{GAL} \end{pmatrix} \quad (14)$$

由于 GAL 所定义的频率为: $E_1 - L_1 - E_2$ 1575.42 MHz = GPS L_1 ; E_3a 1176.45 MHz = GPS L_5 ; E_3b 1207.14 MHz; E_6 1278.75 MHz。假设观察值是同频率的两个系统,那么 GF 观测矩阵 M 变为:

$$M = \begin{pmatrix} e_o \otimes I_{m_{GPS}-1} & \\ & e_o \otimes I_{m_{GAL}-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_{GPS} & \\ & M_{GAL} \end{pmatrix} \quad (15)$$

2 GPS 仿真实验

根据仿真需要设计了这个卫星可见性预报系统。通过这个仿真平台,可以预测和仿真 GPS、GOLNASS、GALILEO、GPS+GALILEO 四种系统。本文主要研究 GPS 和 GPS+GALILEO 两系统下的定位的精度、单基线定位的成功率、在移动状态下 GPS 和 GPS+GALILEO 的观测最低检测效果三个方面。下面通过三个实际仿真实验来考察该系统的功能和仿真效果。

2.1 比较单 GPS 和 GPS+GALILEO 这两种系统下单点定位的精度

GPS 系统有单点模式、单基线模式、自由几何模型三种,这里选择自由几何模型且接收机为静态观测;可以定义载波相位的均方差和码观测值中的标准偏差,这里定义相位观测值 L_1 和 L_2 的均方差均为 0.003,码观测值 L_1 和 L_2 的标准偏差均为 0.3;在地点的选择中可以选择图上点和区域等,也可以输入坐标来定位,这里选择自定义坐标点经纬度分别为 58 和 47,在输出中可根据预报的需要来选择不同的输出内容,可以输出观测最低检测效果、观测成功率、几何位置精度因子 GDOP、定位的精度等,这里选择输出几何精度因子。在图 1 全部选择好上述的设置后选择应用,就能够得到以下的输出结果见图 2。



图 1 GPS 下单点静态 GDOP 输入界面图

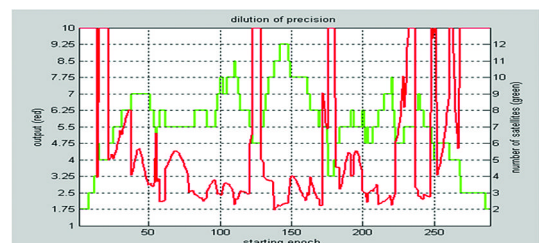


图 2 GPS 下单点静态 GDOP 输出图

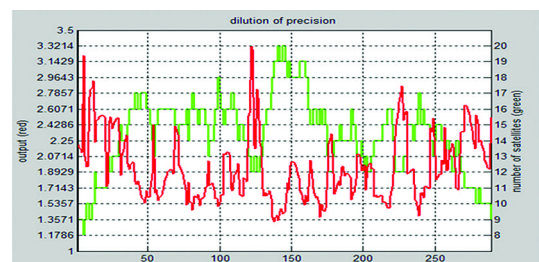


图 3 GPS+GALILEO 下单点静态 GDOP 输出图

选择 GPS+GALILEO 系统，其中相位观测值 L_1 和 E_1 的均方差均为 0.003，相位观测值 L_2 和 E_2 的均方差均为 0.003，码观测值 L_1 和 E_1 的标准偏差均为 0.3，码观测值 L_2 和 E_2 的标准偏差均为 0.3，其他参数和上面一样，运行程序后就得到结果如图 3 所示。

比较图 2 和图 3，可以看出 GPS 定位的误差与精度因子 DOP 的大小成正比。上面两个图中，横坐标轴为时间轴。从图中可以明显的看出来卫星数量与空间位置精度因子成反比。所以在 GPS+GALILEO 系统下无论是几何精度因子 GDOP 还是卫星数目都比单 GPS 系统下有高出许多。由此可以得出：相同时间段内、相同观测条件下，GPS+GALILEO 要比 GPS 精度高。

2.2 单 GPS 和 GPS+GALILEO 两种系统下单基线定位的成功率的比较

在这个模拟实验中，选择 GPS+GALILEO 系统，采用固定基站单基线观测模型，电离层固定，相位观测值 L_1 和 E_1 的均方差分别为 0.002 和 0.005，相位观测值 L_2 和 E_2 的均方差分别为 0.001 和 0.006，码观测值 L_1 和 E_1 的标准偏差分别为 0.3 和 0.7，码观测值 L_2 和 E_2 的标准偏差分别为 0.3 和 0.7，这里定义一个矩形区域，其最左下角经纬度为 (8, 26) 右上角经纬度为 (59, 78)，选择输出观测成功率。在图 4 全部选择好上述的设置后选择应用，运行程序所示仿真结果（见图 5）。



图 4 GPS+GALILEO 下单基线成功率输入界面图

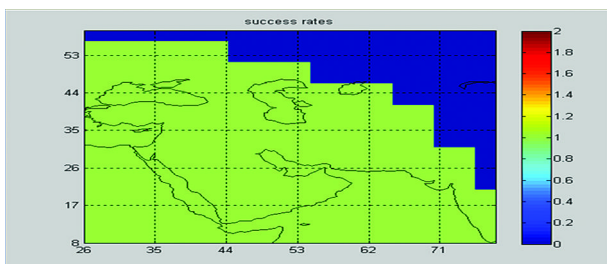


图 5 GPS+GALILEO 下单基线成功率输出图

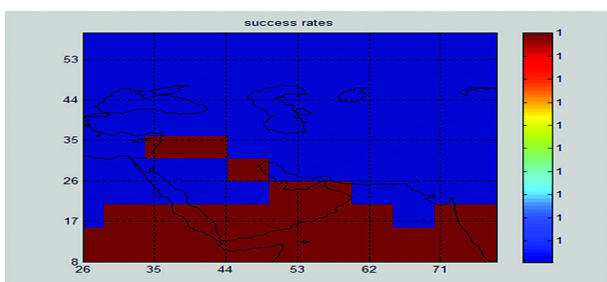


图 6 GPS 下单基线成功率输出图

在选择 GPS 系统中，相位观测值 L_1 和 L_2 均方差分别为 0.002、0.005，码观测值 L_1 的标准偏差为 0.3，码观测值 L_2 的标准偏差为 0.7，其他参数设置、观测条件均与上相同，运行结果如图 6 所示。

比较图 5 和图 6，可以明显的看到颜色的变化。从右边的对比条中，可以看出在左下角绿色区域的成功率要明显高于右上角的深蓝色区域。图 6 下成功率高的区域明显要少于图 5 中的区域。所以，单 GPS 下静态基线观测成功率要比相同条件下的 GPS+GALILEO 的成功率低很多。

2.3 任意几何观测模型中，移动状态下 GPS 和 GPS+GALILEO 的观测最低检测效果的比较

首先选择 GPS 系统，采用移动任意几何观测模型，相位观测值 L_1 和 L_2 的均方差分别为 0.005 和 0.002，码观测值 L_1 和 L_2 的标准偏差分别为 0.1 和 0.7，这里定义一个矩形区域，其最左下角经纬度为 (-35, -28) 右上角经纬度为 (29, 16)，选择输出观测最低检测效果 MDB。运行程序可得仿真效果（见图 7）。

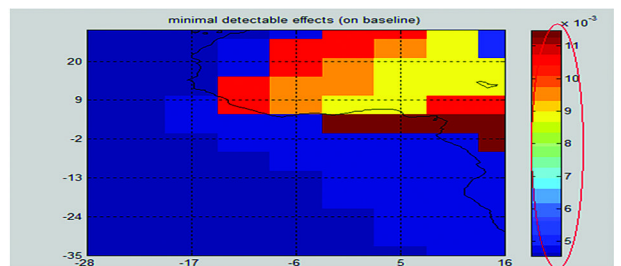


图 7 GPS 动态任意几何观测模型 MDB 输出图

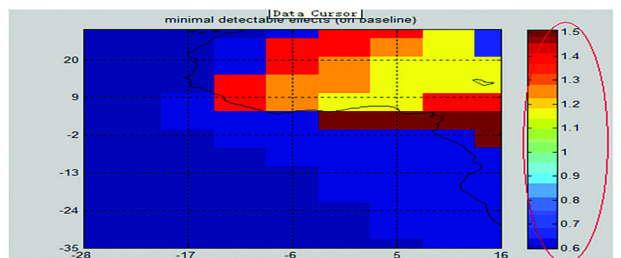


图 8 GPS+GALILEO 动态任意几何观测模型 MDB 输出图

在 GPS+GALILEO 系统下，其中相位观测值 L_1 和 E_1 的均方差分别为 0.004 和 0.006，相位观测值 L_2 和 E_2 的均方差分别为 0.001 和 0.005，码观测值 L_1 和 E_1 的标准偏差分别为 0.3 和 0.5，码观测值 L_2 和 E_2 的标准偏差分别为 0.2 和 0.5，其他参数和观测条件都相同，运行仿真效果见图 8。

比较图 7 和图 8，粗看两个图的差别很小，但是需要注意的是两个图右边标注颜色的单位和数值的差别。实际上图 7 中比图 8 中 MDB 小了很多，因为单位上差了 10^3 。由此可以得到：相同条件下动态任意几何模型在 GPS 系统中和在 GPS+GALILEO（下转第 82 页）

的一个突破,它标志着房地产管理走向更加成熟、更加规范的管理模式。其总体功能结构如图 1 所示。

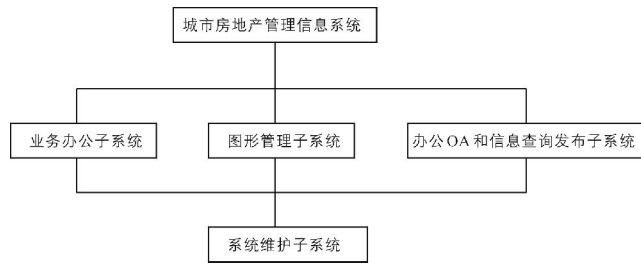


图 1 城市房地产管理信息系统总体功能结构

城市房地产信息系统的建立既满足目前国内房产管理部门所迫切需要的自动化办公要求,又具有处理速度快、精度高、分析科学、查询方便、图形和属性一体化管理、界面友好的特点。同时,随着计算机在房产管理部门的普及, MIS 技术的完善,建立一套满足房产管理的自动化、网络化、科学、高效的办公系统,使房产管理部门通过系统真正实现技术的整体链接,从而使房产管理部门之间形成统一的整体。

2.7 政府决策支持方面

城市 GIS 应用的建设过程中,很多应用领域都以政府管理的需求与应用为主导和发展方向。为政府部门提供多方面的交流,及时的数据和信息,是减少政府决策失误的有力保证。如城市遭受自然灾害的情况时有发生,建立相应的系统和电子地图就可以对现状作出及时判断和分析,对灾害影响和灾情发展进行模

拟,系统根据模拟结果提出紧急响应方案,政府根据方案立即部署,同时采取行动以最大限度地减少损失。灾后还要评估灾情,及时作出灾后重建工作规划。特别是 3S 等为基础的高新技术的应用,为政府在制订有关城市可持续发展的政策方面提供更加客观、科学、可靠的决策依据。

3 结 语

现代城市中,信息量急剧膨胀,社会管理日益复杂,对城市管理手段的要求越来越高。面对有限的空间资源,如何使之产生最大的效益,是城市管理面临的共同课题。针对现代城市的社会空间结构,利用 UGIS 技术,实施战略信息综合管理是一项面向未来的具有重大意义的事业。

参考文献

- [1] 张新长,曾广鸿,张青年.城市地理信息系统[M].北京:科学出版社,2001
- [2] 修文群.地理信息系统 GIS 数字化城市建设指南[M].北京:希望电子出版社,2001
- [3] 陈述彭.城市化与城市地理信息系统[M].北京:科学出版社,2001
- [4] 梁勇,袁铭.数字城市建设与管理[M].北京:中国农业大学出版社,2005
- [5] 焦莉,赵杰论.GIS 在交通领域中的应用[J].东北测绘,2002(2):32-33

第一作者简介:赵海卫,硕士,研究方向为应用地理信息系统。

(上接第 79 页)系统中 MDB 差别很大。也就是说,相同条件下动态任意几何模型在 GPS 系统中比在 GPS+GALILEO 系统中精度低很多。

3 结 论

总之 GPS 的仿真,可以减少无用功、极大地提高工作效率并能有效地降低决策中的成本,使广大科研工作者足不出户就能够得到大量有用必要的高逼真观测数据。本文我们通过对 GPS 系统和 GPS+GALILEO 系统建立数学模型建模,然后对这两个系统的仿真,通过实际模拟多种观测条件下 GPS 系统以及 GPS+GALILEO 系统定位的效果。理论和实验表明:在相同观测条件下,GPS+GALILEO 观测精度均要比 GPS 观测精度高。

参考文献

- [1] 郑冲,李延兴,吴杰.单星定向原理及 GPS 仿真试验[J].国防科技大学学报,2005,27(1):20-25
- [2] 郝明.高动态 GPS 观测数据的仿真研究[J].测绘科学,2008,33(6):60-62
- [3] 王华,李有军,刘建存.MATLAB 电子仿真与应用教程[M].北京:国防工业出版社,2007
- [4] 刘俊.GPS 系统建模与仿真技术研究[J].系统仿真学报,2001(5):329-331
- [5] 齐欢,王小平.系统建模与仿真[M].北京:清华大学出版社,2004
- [6] OU Jikun, W Zhenjie. An Improved Regularization Method to Resolve Integer Ambiguity in Rapid Positioning Using Single Frequency GPS Receivers[J]. 科学通报(英文版),2004,49(2):196-200

第一作者简介:李春龙,硕士,主要研究方向为测量自动化。