



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 105204047 B

(45) 授权公告日 2016. 04. 06

(21) 申请号 201510659018. 7

(22) 申请日 2015. 10. 13

(73) 专利权人 中国石油大学(华东)

地址 266580 山东省青岛市经济技术开发区  
长江西路 66 号

(72) 发明人 姬生月 王振杰

(74) 专利代理机构 济南圣达知识产权代理有限  
公司 37221

代理人 张勇

(51) Int. Cl.

G01S 19/42(2010. 01)

审查员 张静

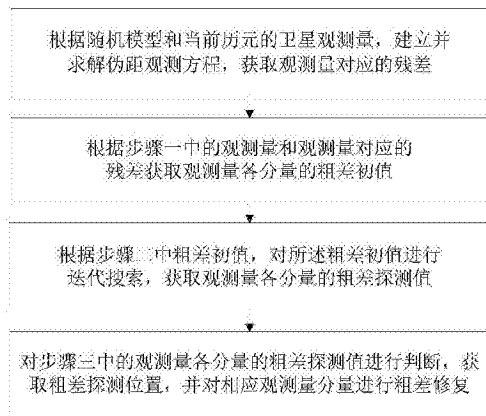
权利要求书1页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

一种卫星导航系统中观测量单个粗差的探测与修复方法

(57) 摘要

本发明公开了一种卫星导航系统中观测量单个粗差的探测与修复方法, 包括以下步骤: 根据随机模型和当前历元的卫星观测量, 建立并求解伪距观测方程, 获取观测量对应的残差; 根据步骤一中的观测量和观测量对应的残差获取观测量各分量的粗差初值; 根据步骤二中的粗差初值, 对所述粗差初值进行迭代搜索, 获取观测量各分量的粗差探测值; 对步骤三中的观测量各分量的粗差探测值进行判断, 获取粗差探测位置, 并对相应观测量分量进行粗差修复。本发明的有益效果是, 在可能的粗差范围内可以成功搜索到粗差估值, 通过位置判断可以准确获得粗差的实际位置, 该方法与现有方法相比, 探测出的粗差探测值更加接近粗差实际值, 且探测位置更加准确, 可靠性高。



1. 一种卫星导航系统中观测量单个粗差的探测与修复方法,其特征是,包括以下步骤:

步骤一:根据随机模型和当前历元的卫星观测量,建立并求解伪距观测方程,获取观测量对应的残差;

步骤二:根据步骤一中的观测量和观测量对应的残差获取观测量各分量的粗差初值;

步骤三:根据步骤二中的粗差初值,对所述粗差初值进行迭代搜索,获取观测量各分量的粗差探测值;

步骤四,对步骤三中的观测量各分量的粗差探测值进行判断,获取粗差探测位置,并对相应观测量分量进行粗差修复;

所述步骤二包括以下子步骤:

S201:根据伪距观测方程,计算单位向量对应的残差;

S202:取单位向量对应的残差各分量符号,与观测量权阵P对角线对应分量平方根相乘,构成加权向量;

S203:将加权向量各分量分别与观测量对应的残差和单位向量对应的残差相乘,分别得到实际偏差和单位偏差,将实际偏差和单位偏差各分量分别相加分别得到单位残差对应的统计量和实际残差对应的统计量;

S204:将单位残差对应的统计量和实际残差对应的统计量作比值,得到粗差初值。

2. 如权利要求1所述的卫星导航系统中观测量单个粗差的探测与修复方法,其特征是,所述步骤一中,根据最小二乘估计法求解伪距观测方程。

3. 如权利要求1所述的卫星导航系统中观测量单个粗差的探测与修复方法,其特征是,所述步骤三包括以下子步骤:

S301:构造搜索区间( $Bias_{k0}-R, Bias_{k0}+R$ ),其中 $R>0$ , $Bias_{k0}$ 表示第k个观测量上的粗差初值;

S302:计算搜索区间内粗差探测可能值以及粗差探测可能值对应的观测量残差平方和,并根据观测量残差平方和从粗差探测可能值中获取粗差探测值。

4. 如权利要求3所述的卫星导航系统中观测量单个粗差的探测与修复方法,其特征是,所述步骤S302中,在搜索区间( $Bias_{k0}-R, Bias_{k0}+R$ )内,针对观测量各分量分别进行迭代搜索,将搜索区间内残差平方和最小值对应的粗差探测可能值作为该观测量分量的粗差探测值。

5. 如权利要求1所述的卫星导航系统中观测量单个粗差的探测与修复方法,其特征是,所述步骤四中,第k个观测量 $l_k$ 含有粗差,且其大小为 $\tilde{Bias}_k$ 判断标准为同时满足绝对值准则和差值准则,即:

1. 绝对值准则: $\tilde{Bias}_k$ 绝对值大于阈值;

2. 差值准则:任意一个观测量分量修复粗差后的残差平方和与第k个观测量 $l_k$ 修复粗差后的残差平方和的差值大于差值阈值。

## 一种卫星导航系统中观测量单个粗差的探测与修复方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及卫星导航技术领域,尤其是一种卫星导航系统中观测量单个粗差的探测与修复方法。

### 背景技术

[0002] 目前,GNSS可为陆海空提供全天候和全球性的导航、定位和测量服务,目前已被广泛应用于交通、测绘等许多行业。由于其高精度和自动测量的特点,作为先进的测量手段和新的生产力,已经融入了国民经济建设、国防建设和社会发展的各个应用领域。

[0003] GNSS虽然具有上述优点,但由于其观测量受卫星数据质量和外界环境的影响较大,且随着GNSS系统的增多,观测数据也变得越来越,观测数据出现粗差的风险越来越大。这些粗差如果直接参与数据处理,将会大大降低GNSS导航和定位结果应有的精度,甚至会带来破坏性影响。为了保证观测数据的质量,经常要对数据进行处理,探测并修复或剔除里面的粗差,这是GNSS导航与定位中非常重要、必须解决且最具挑战性的问题之一。

[0004] 但是在粗差探测中,不论是独立观测数据,还是相关观测数据,都将面临着粗差不能被正确识别的问题。GNSS数据中包括存在多个粗差和单个粗差的情况。针对存在粗差的情况,目前常用的单个粗差的探测与修复方法主要是根据残差平方和或个别残差绝对值的大小来探测粗差,安全可靠性较差。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是为克服上述现有技术的不足,提供一种观测量中的单个粗差探测可靠性较高且适合于多个卫星导航系统中的粗差探测与修复方法。

[0006] 为实现上述目的,本发明采用下述技术方案:

[0007] 一种卫星导航系统中观测量单个粗差的探测与修复方法,包括以下步骤:

[0008] 步骤一:根据随机模型和当前历元的卫星观测量,建立并求解伪距观测方程,获取观测量对应的残差;

[0009] 步骤二:根据步骤一中的观测量和观测量对应的残差获取观测量各分量的粗差初值;

[0010] 步骤三:根据步骤二中的粗差初值,对所述粗差初值进行迭代搜索,获取观测量各分量的粗差探测值;

[0011] 步骤四,对步骤三中的观测量各分量的粗差探测值进行判断,获取粗差探测位置,并对相应观测量分量进行粗差修复。

[0012] 优选的,所述步骤一中,根据最小二乘估计法求解伪距观测方程。

[0013] 优选的,所述步骤二包括以下子步骤:

[0014] S201:根据伪距观测方程,计算单位向量对应的残差;

[0015] S202:取单位向量对应的残差各分量符号,与观测量权阵P对角线对应分量平方根相乘,构成加权向量;

[0016] S203:将加权向量各分量分别与观测量对应的残差和单位向量对应的残差相乘,分别得到实际偏差和单位偏差,将实际偏差和单位偏差各分量分别相加分别得到单位残差对应的统计量和实际残差对应的统计量;

[0017] S204:将单位残差对应的统计量和实际残差对应的统计量作比值,得到粗差初值。

[0018] 优选的,所述步骤三包括以下子步骤:

[0019] S301:构造搜索区间( $Bias_{k0}-R, Bias_{k0}+R$ ),其中 $R>0$ , $Bias_{k0}$ 表示第 $k$ 个观测量上的粗差初值;

[0020] S302:计算搜索区间内粗差探测可能值以及粗差探测可能值对应的观测量残差平方和,并根据观测量残差平方和从粗差探测可能值中获取粗差探测值;

[0021] 在搜索区间( $Bias_{k0}-R, Bias_{k0}+R$ )内, $R>0$ ,计算观测量各分量对应的粗差探测可能值,针对观测量各分量分别进行迭代搜索,将搜索区间内残差平方和最小值对应的粗差探测可能值作为该观测量分量的粗差探测值。

[0022] 选择残差平方和最小值的原因是:

[0023] 观测量 $L$ 的第 $k$ 个分量 $l_k$ 上修复的粗差越接近观测量真实值,修复后的观测量所计算出的残差越小,因此观测量分量中对应的粗差探测可能值中,最接近观测量真实值的粗差对应的残差平方和必然是该观测量分量中所有的粗差探测可能值对应的残差平方和最小值,该粗差探测可能值即为粗差探测值。

[0024] 所述步骤四中,对观测量各分量的粗差探测值 $Bias_{kx}$ 进行判断是指根据步骤三中得到的 $n$ 个粗差探测位置通过判断准则唯一得确定粗差位置。

[0025] 优选的,所述步骤四中,根据粗差探测值 $Bias_{kx}$ 获取探测位置的判断标准为:

[0026] 第 $k$ 个观测量 $l_k$ 含有粗差,且其大小为 $Bias_{kx}$ 判断标准为同时满足绝对值准则和差值准则,即:

[0027] 1.绝对值准则: $Bias_{kx}$ 绝对值大于阈值;

[0028] 2.差值准则:任意一个观测量分量修复粗差后的残差平方和与第 $k$ 个观测量 $l_k$ 修复粗差后的残差平方和的差值大于差值阈值。

[0029] 优选的,所述步骤四中,根据粗差探测值和探测位置,对观测量各分量进行粗差修复具体为:在探测位置上,将对应的观测量分量减去步骤三中粗差探测探测值,实现粗差修复。

[0030] 本发明的有益效果是,在可能的粗差范围内可以成功搜索到粗差估值,通过位置判断可以准确获得粗差的实际位置,该方法与现有方法相比,探测出的粗差探测值更加接近粗差实际值,且探测位置更加准确,可靠性高。

## 附图说明

[0031] 图1是本发明流程图。

## 具体实施方式

[0032] 下面结合附图和实施例对本发明进一步说明。

[0033] 如图1所示,一种卫星导航系统中观测量单个粗差的探测与修复方法,包括以下步

骤:

[0034] 步骤一:根据随机模型和当前历元的卫星观测量,建立并求解伪距观测方程,获取观测量对应的残差;

[0035] 步骤二:根据步骤一中的观测量和观测量对应的残差获取观测量各分量的粗差初值;

[0036] 步骤三:根据步骤二中的粗差初值,对所述粗差初值进行迭代搜索,获取观测量各分量的粗差探测值;

[0037] 步骤四:对步骤三中的观测量各分量的粗差探测值进行判断,获取粗差探测位置,并对相应观测量分量进行粗差修复。

[0038] 实施例:步骤一:全球卫星导航系统GNSS的伪距观测方程为 $AX=L$ ,随机模型中,权阵为 $P$ ,表示为

$$[0039] \quad P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1n} & \cdots & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2n} & \cdots & P_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{i1} & P_{i2} & \cdots & P_{in} & \cdots & P_{im} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \cdots & P_{nn} & \cdots & P_{nm} \\ P_{m1} & P_{m2} & \cdots & P_{mn} & \cdots & P_{mm} \end{bmatrix}$$

[0040] 式中, $X$ 为位置参数向量, $A$ 为系数矩阵,观测量为 $L$ ,表示为 $L=[l_1 \ l_2 \ \cdots \ l_k \ \cdots \ l_n]^T$ 。根据最小二乘估计方法,得到位置参数向量 $X$ 的估值,观测量 $L$ 对应的残差表达为:

[0041]  $V=(I-A(A^T P A)^{-1} A^T P)L=L-AX=e=[v_1 \ v_2 \ \cdots \ v_k \ \cdots \ v_n]^T$ ,式中, $I$ 为单位阵。

[0042] 所述步骤二包括步骤:

[0043] S201:根据伪距观测方程,计算单位向量对应的残差;

[0044] 单位向量组为 $b_k, k=1, 2, \dots, n$ ,单位向量组包括 $n$ 个向量,单位向量 $b_k$ 为 $b_k=[0 \ 0 \ \cdots \ 1 \ \cdots \ 0]^T$ ,表示第 $k$ 个分量为1,其余分量为0;

[0045] 根据单位向量组建立伪距观测方程 $AX=b_k, k=1, 2, \dots, n$ ,依次计算单位向量 $b_k, k=1, 2, \dots, n$ 对应的残差为:

$$[0046] \quad \tilde{V}_k = (I - A(A^T P A)^{-1} A^T P) b_k = [\tilde{v}_{k1} \ \tilde{v}_{k2} \ \cdots \ \tilde{v}_{km}]^T;$$

[0047] 求解单位向量 $b_k$ 对应的残差的目的是计算出第 $k$ 个观测量 $l_k$ 上为一个单位粗差对应的残差。

[0048] S202:根据单位向量对应的残差偏差和权阵对角线各分量获得加权向量;

[0049] 取单位向量 $\tilde{V}_k$ 各分量符号,与观测量权阵 $P$ 对角线对应分量平方根相乘,构成加权向量 $S_k$ ,表示为:

$$[0050] \quad S_k = [\text{sign}(\tilde{v}_{k1}) * \sqrt{P_{11}} \ \text{sign}(\tilde{v}_{k2}) * \sqrt{P_{22}} \ \cdots \ \text{sign}(\tilde{v}_{km}) * \sqrt{P_{mm}}]$$

[0051] S203:根据加权向量与观测量对应的残差得到单位残差对应的统计量 $\tilde{Q}_k$ ,根据加权向量和单位向量对应的残差得到实际残差对应的统计量 $Q_k$ ;

[0052] 将加权向量 $S_k$ 各分量分别与观测量对应的残差和单位向量对应的残差相乘,分别得到实际偏差 $B_k$ 和单位偏差 $\tilde{B}_k$ ;

[0053]

$$\tilde{B}_k = [\tilde{v}_{k1} * \text{sign}(\tilde{v}_{k1}) * \sqrt{p_{11}} \quad \tilde{v}_{k2} * \text{sign}(\tilde{v}_{k2}) * \sqrt{p_{22}} \quad \cdots \quad \tilde{v}_{km} * \text{sign}(\tilde{v}_{km}) * \sqrt{p_{mm}}]$$

[0054] 
$$B_k = [v_1 * \text{sign}(\tilde{v}_{k1}) * \sqrt{p_{11}} \quad v_2 * \text{sign}(\tilde{v}_{k2}) * \sqrt{p_{22}} \quad \cdots \quad v_n * \text{sign}(\tilde{v}_{kn}) * \sqrt{p_{nn}}]$$

[0055] 将实际偏差 $B_k$ 和单位偏差 $\tilde{B}_k$ 各分量分别相加分别得到单位残差对应的统计量 $\tilde{Q}_k$ 和实际残差对应的统计量 $Q_k$ ,即

[0056] 
$$\tilde{Q}_k = \sum_{i=1}^n \tilde{v}_{ki} * \text{sign}(\tilde{v}_{ki}) * \sqrt{p_{ii}} ;$$

[0057] 
$$Q_k = \sum_{i=1}^n v_i * \text{sign}(\tilde{v}_{ki}) * \sqrt{p_{ii}} ;$$

[0058] S204:将单位残差对应的统计量 $\tilde{Q}_k$ 和实际残差对应的统计量 $Q_k$ 作比值,得到粗差初值。

[0059] 
$$\text{Bias}_{k0} = Q_k / \tilde{Q}_k。$$

[0060] 所述步骤三包括以下步骤:

[0061] S301:构造搜索区间 $(\text{Bias}_{k0}-R, \text{Bias}_{k0}+R)$ 其中 $R>0$ , $\text{Bias}_{k0}$ 表示第 $k$ 个观测量上的粗差初值;

[0062] S302:计算搜索区间内粗差探测可能值以及粗差探测可能值对应的观测残差平方和,并根据观测残差平方和从粗差探测可能值中获取粗差探测值;

[0063] 进一步,在各观测分量对应的搜索区间 $(\text{Bias}_{k0}-R, \text{Bias}_{k0}+R)$ 内搜索粗差探测可能值 $\text{Bias}_s$ ,并计算每一个粗差探测可能值修复后的观测残差,将残差平方和最小值对应的粗差探测估计值作为粗差探测值。

[0064] 以观测分量 $l_2$ 为例:

[0065] 设观测量为 $L = [l_1, l_2, \dots, l_n]^T$ , $l_2$ 分量上的粗差初值为 $\text{Bias}_{20} = 5$ , $R = 3$ ,设定步长为1,则搜索区间为 $(2, 8)$ ;

[0066] 该搜索区间 $(2, 8)$ 内粗差探测可能值为 $\text{Bias}_s$ , $\text{Bias}_s \in \{3, 4, 5, 6, 7\}$ ,此时,根据粗差探测可能值得到修复后的观测量 $L = [l_1, l_2 - \text{Bias}_{20}, l_3, \dots, l_n]^T$ ,分别计算 $\text{Bias}_s \in \{3, 4, 5, 6, 7\}$ 对应的观测量的残差平方和 $\hat{V}_s^T P \hat{V}_s$ ,若 $\text{Bias}_{20} = 5$ 时,第2个位置的残差平方和 $\hat{V}_s^T P \hat{V}_s$ 最小,则观测分量 $l_2$ 上粗差探测值为 $\text{Bias}_2 = 5$ 。

[0067] 采用上述算法原因是:

[0068] 以观测分量 $l_2$ 为例,若观测分量 $l_s$ 中粗差探测可能值为 $\text{Bias}_s$ ,那么该粗差探测可能值 $\text{Bias}_s$ 对应的残差平方和 $\hat{V}_s^T P \hat{V}_s$ 必然是残差平方和最小值,该残差平方和最小值对应的粗差探测可能值为观测分量 $l_s$ 的粗差探测值,并用 $\tilde{\text{Bias}}_k$ 表示, $\tilde{\text{Bias}}_k$ 对应的残差和残差平方和分别记 $\tilde{V}_k$ 和 $\tilde{V}_k^T P \tilde{V}_k$ 。

[0069] 步骤四,对步骤三中的观测量各分量的粗差探测值  $Bias_k$  进行判断,获取粗差探测位置,并对相应观测量分量进行粗差修复。

[0070] 进一步,所述步骤四中,对观测量各分量的粗差探测值  $Bias_k$  进行判断是指根据步骤三中得到的n个粗差探测位置通过判断准则唯一得确定粗差位置。

[0071] 设第k个观测量  $l_k$  含有粗差,且其大小为  $Bias_k$  判断标准为同时满足绝对值准则和差值准则,即:

[0072] 1.绝对值准则:  $Bias_k$  绝对值大于阈值;

[0073] 2.差值准则:任意一个观测量分量修复粗差后的残差平方和与第k个观测量  $l_k$  修复粗差后的残差平方和的差值大于差值阈值。

[0074] 所述步骤四中,根据粗差探测值和探测位置,对观测量分量进行粗差修复指在探测位置上,将观测量分量减去粗差探测值,实现观测量分量的粗差修复。

[0075] 实施例采用澳大利亚科廷大学内某一空旷区域,选择相隔4米左右为一条基线,选取2014年1月1日数据中的第2个历元作为试验数据,定位方式采用GPS卫星和北斗卫星双差联合定位,伪距类型选用“C1”,试验数据总共包含12颗卫星,其中前6颗是GPS卫星,后6颗是北斗卫星。依次在12颗卫星上人为加入粗差,分别根据本发明的方法与巴尔达法获取粗差探测值,并将本发明的方法与巴尔达法进行比较。

[0076] 表1是本发明的粗差探测试验结果,表2是巴尔达法的探测试验结果。

[0077] 以表1中第1列数据为例,卫星号1表示所加粗差的卫星号,4.8表示人为加入的粗差值,即粗差实际值,探测位置1表示新方法探测出的粗差位置,探测值4.74表示本发明的方法获取的粗差探测值。表2同理,探测位置为0表示巴尔达法未能探测到粗差。

[0078] 表1本发明的粗差探测试验结果

卫星号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
粗差 实际值	4.8	4.6	3.7	5	4.2	4.1	2.3	3.3	4.6	4.2	1.0	2.7
探测位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
粗差探测 值	4.74	4.45	3.69	4.63	5.26	4.54	3.66	2.71	2.86	2.49	2.30	3.09

[0080] 表2巴尔达法粗差探测试验结果

[0081]

卫星号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
粗差 实际值	4.8	4.6	3.7	5	4.2	4.1	2.3	3.3	4.6	4.2	1.0	2.7
探测位置	0	0	0	0	0	0	7	8	9	8	0	0
粗差探测 值	0	0	0	0	0	0	2.20	2.33	2.49	2.32	0	0

[0082] 从表1、表2可以明显看出：

[0083] 一方面，与巴尔达法相比，本发明的粗差探测与修复方法可以准确探测出所有粗差的位置，并且所探测出粗差最终估计值更加接近粗差实际值，同时，对于较小的粗差，如1.0、2.3，本发明的粗差探测与修复方法也能成功探测。

[0084] 另一方面，本发明的粗差探测与修复方法针对GPS卫星探测出来得粗差比针对北斗卫星探测出的粗差最终估计值更加接近实际值，原因是北斗卫星的伪距噪声水平比GPS卫星高，因此对粗差探测影响更大，所以导致探测出来的粗差最终估计值偏离粗差实际值略大。

[0085] 综上所述，本发明的粗差探测与修复方法能有效探测粗差的位置及大小，验证了本发明的可靠性，所探测出粗差的大小与实际值较接近，并且对较小粗差也能成功探测。

[0086] 上述虽然结合附图对本发明的具体实施方式进行了描述，但并非对本发明保护范围的限制，所属领域技术人员应该明白，在本发明的技术方案的基础上，本领域技术人员不需要付出创造性劳动即可做出的各种修改或变形仍在本发明的保护范围以内。





图1