



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103728643 B

(45) 授权公告日 2016. 01. 20

(21) 申请号 201410023475. 2

报》. 2012, 第 20 卷 (第 5 期), 第 587-592 页.

(22) 申请日 2014. 01. 20

审查员 张洁

(73) 专利权人 东南大学

地址 211189 江苏省南京市江宁区东南大学  
路 2 号

(72) 发明人 潘树国 王胜利 高成发 时小飞

(74) 专利代理机构 南京瑞弘专利商标事务所  
(普通合伙) 32249

代理人 杨晓玲

(51) Int. Cl.

G01S 19/44(2010. 01)

(56) 对比文件

CN 101750600 A, 2010. 06. 23, 全文.

CN 102650694 A, 2012. 08. 29, 全文.

WO 2010/096158 A2, 2010. 08. 26, 全文.

邓健等. 基于最优组合的长基线网络 RTK  
三频载波模糊度快速解算. 《中国惯性技术学

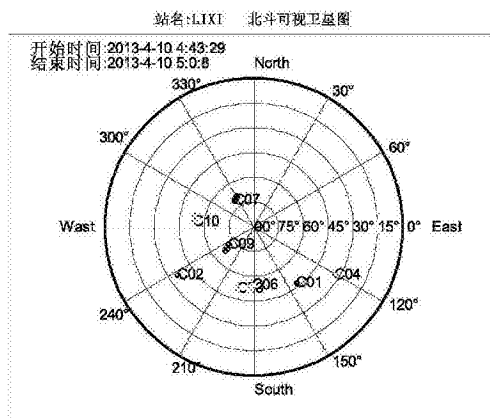
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 10 页

(54) 发明名称

附有宽巷约束的北斗三频网络 RTK 模糊度单  
历元固定方法

(57) 摘要

本发明公开了一种附有宽巷约束的北斗三频  
网络 RTK 模糊度单历元固定方法。首先利用载波  
和伪距的组合单历元解算出北斗的两个超宽巷整  
周模糊度值, 然后再联立无电离层组合两个方程  
和无几何组合的两个方程, 三类六个方程解算三  
个模糊度参数。通过对三类方程进行合理定权, 即  
可单历元解算出北斗三频的基础模糊度  $N_1$ ,  $N_2$  和  
 $N_3$ 。本发明方法能明显提高北斗模糊度快速解算  
的准确性和效率。



1. 一种附有宽巷约束的北斗三频网络 RTK 模糊度单历元固定方法, 其特征在于, 包括如下步骤:

步骤 (1), 进行周跳探测与修复预处理工作;

步骤 (2), 建立基于参考站的双差观测模型;

步骤 (3), 采用载波和伪距的组合解算出两个超宽巷整周模糊度, 具体步骤如下:

采用式 (1) 和式 (2) 求解北斗的两个超宽巷模糊度:

$$\Delta\nabla N_{(0,-1,1)} = \left[ \frac{\Delta\nabla P_{(0,-1,1)} - \Delta\nabla\Phi_{(0,-1,1)}}{\lambda_{(0,-1,1)}} \right] \quad (1)$$

$$\Delta\nabla N_{(1,4,-5)} = \left[ \frac{\Delta\nabla P_{(1,4,-5)} - \Delta\nabla\Phi_{(1,4,-5)}}{\lambda_{(1,4,-5)}} \right] \quad (2)$$

其中,  $[\ ]$  代表四舍五入算子,  $\Delta\nabla$  为双差算子,  $\Delta\nabla N_{(0,-1,1)}$ 、 $\Delta\nabla N_{(1,4,-5)}$  为北斗的两个超宽巷模糊度,  $\Delta\nabla P_{(i,j,k)}$  是双差伪距组合观测值,  $\Delta\nabla\Phi_{(i,j,k)}$  是双差相位组合观测值,  $\lambda_{(i,j,k)}$  是组合后的波长;

设 BDS 中使用的三个载波频率依次为  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ , 则双差伪距组合观测值、双差相位组合观测值分别为:

$$\Delta\nabla P_{(i,j,k)} = \frac{i \cdot f_1 \cdot \Delta\nabla P_1 + j \cdot f_2 \cdot \Delta\nabla P_2 + k \cdot f_3 \cdot \Delta\nabla P_3}{i \cdot f_1 + j \cdot f_2 + k \cdot f_3} \quad (3)$$

$$\Delta\nabla\Phi_{(i,j,k)} = \frac{i \cdot f_1 \cdot \Delta\nabla\Phi_1 + j \cdot f_2 \cdot \Delta\nabla\Phi_2 + k \cdot f_3 \cdot \Delta\nabla\Phi_3}{i \cdot f_1 + j \cdot f_2 + k \cdot f_3} \quad (4)$$

其中, 组合系数  $i$ 、 $j$ 、 $k$  为任意整数,  $\Delta\nabla P_x$  为频率  $x$  上的双差伪距观测值,  $\Delta\nabla\Phi_x$  为频率  $x$  上的双差相位观测值,  $x = 1, 2, 3$  分别依次对应载波频率  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ ;

组合模糊度  $\Delta\nabla N_{(i,j,k)}$ 、频率  $f_{(i,j,k)}$  和波长  $\lambda_{(i,j,k)}$  依次为:

$$\Delta\nabla N_{(i,j,k)} = i \cdot \Delta\nabla N_1 + j \cdot \Delta\nabla N_2 + k \cdot \Delta\nabla N_3 \quad (5)$$

$$f_{(i,j,k)} = i \cdot f_1 + j \cdot f_2 + k \cdot f_3 \quad (6)$$

$$\lambda_{(i,j,k)} = \frac{c}{f_{(i,j,k)}} = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3}{i \cdot \lambda_2 \lambda_3 + j \cdot \lambda_1 \lambda_3 + k \cdot \lambda_1 \lambda_2} \quad (7)$$

其中,  $c$  为光速,  $\lambda_i$  为频率  $i$  上的载波波长,  $\Delta\nabla N_x$  为相应频率  $x$  上的双差模糊度,  $x = 1, 2, 3$  分别依次对应载波频率  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ ;

步骤 (4), 单历元解算 BDS 的 B1、B2、B3 载波频段对应的基础模糊度  $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ :

首先, 联立超宽巷两个方程、无电离层组合两个方程和无几何组合两个方程; 针对非整数系数组合:

无电离层组合的组合电离层延迟因子为 0, 对于三种无电离层组合, 其中任意两种都可以表示第三种, 即存在线性相关性; 对于三种无几何组合, 轨道和对流层延迟均为 0, 但存在电离层误差, 其中任意两种都可以表示第三种, 即存在线性相关性;

在超宽巷中选择两个, 无电离层组合中选择两个, 无几何组合中选择两个, 组成三类六

个方程,解算三个模糊度,即:

$$\begin{pmatrix} 0 & -1 & 1 \\ 1 & 4 & -5 \\ \frac{f_1^2}{f_1^2-f_2^2} & -\frac{f_1f_2}{f_1^2-f_2^2} & 0 \\ \frac{f_1^2}{f_1^2-f_3^2} & 0 & -\frac{f_1f_3}{f_1^2-f_3^2} \\ \lambda_1 & -\lambda_2 & 0 \\ \lambda_1 & 0 & -\lambda_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} N_{(0,-1,1)} \\ N_{(1,4,-5)} \\ \Delta\nabla\Phi_{IF(1,2)} - \Delta\nabla\rho \\ \Delta\nabla\Phi_{IF(1,3)} - \Delta\nabla\rho \\ \Delta\nabla\Phi_{GF(1,2)} \\ \Delta\nabla\Phi_{GF(1,3)} \end{pmatrix} \quad (8)$$

其中,  $\Delta\nabla\Phi_{IF(i,j)}$  是无电离层组合的双差载波观测值,  $\Delta\nabla\Phi_{GF(i,j)}$  是无几何组合的双差载波观测值;  $\Delta\nabla\rho$  为双差站星距;

根据所述三类六个方程解算三个模糊度参数,然后通过所述三类六个方程进行定权,对 B1 载波频段基础模糊度  $N_1$  进行单历元固定,所述定权方法为:超宽巷方程:无电离层组合方程:无几何模型 = 1000:100:1;最后,根据所 B1 载波频段基础模糊度  $N_1$ ,求得 B2、B3 载波频段对应的基础模糊度  $N_2$ 、 $N_3$ 。

## 附有宽巷约束的北斗三频网络 RTK 模糊度单历元固定方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及北斗三频网络 RTK 双差模糊度计算,特别涉及三频双差模糊度单历元固定方法。

### 背景技术

[0002] 为了打破目前世界上美、俄全球定位系统的垄断,中国在建设功能完善,开放兼容的北斗卫星导航系统 BDS。BDS 系统卫星全部具备三频功能,是现在唯一的全三频工作的卫星导航系统。

[0003] 网络 RTK 又称多参考站 RTK,是近年来在常规 RTK、Internet、无线通讯、计算机网络管理等技术基础上发展起来的新一代实时动态定位新技术。整个参考站网数据由数据处理中心统一进行计算,实时估计出网内各种系统误差的改正项(对流层、电离层和轨道误差),建立相应的误差改正模型,将改正信息发给用户。用户在接收到这些误差改正信息后,根据其近似坐标对观测数据进行修正便可以快速固定载波相位模糊度,实现网内高精度定位。

[0004] 在网络 RTK 中,参考站间模糊度的正确解算直接关系到对流层、电离层等空间误差估计的精度,是整个网络 RTK 技术的核心问题。参考站网络模糊度解算主要受双差电离层、对流层延迟及轨道误差等距离相关误差的影响。随着参考站间基线距离的增长,系统误差相关性逐渐减弱,双差观测值中的系统误差残差迅速增大,导致难以正确确定整周模糊度,使得定位精度下降。另一方面,不同于常规模糊解算方法,网络 RTK 可以利用参考站的精确坐标作为已知信息来改善参考站间整周模糊度的固定效率,因此,有利于长基线甚至超长基线模糊度正确解算。

[0005] 近年来,网络 RTK 参考站间模糊度解算大都采用模糊度域中确定模糊度的方法,根据不同的大气误差(主要为电离层延迟误差)处理方式,这里将其主要分为两大类,第一类为大气误差影响的消除或削弱法,如,利用先验大气误差预测模型、组合观测量长波长或低噪声特性等消除或削弱大气误差影响。该方法解算模糊度的准确性和可靠性主要取决于能否有效消除或削弱大气误差对模糊度解算影响,通常在中短基线能够获得成功率较高的模糊度,对于长基线低仰角卫星模糊度解算还存在一定的局限性。

[0006] 第二类方法为参数法,即将主要大气误差电离层延迟或天顶对流层延迟作为参数,结合其随机模型,与模糊度一同解算出。如将电离层参数法引入网络 RTK 模糊度解算中,采用一种自适应电离层加权模型构造电离层参数随机函数,若不考虑电离层变化的时空特性,就有一定的局限性。该方法通过将大气误差影响作为参数建模,使得模型更加严谨,但是由于引入了新的参数,使得新引入参数与模糊度之间存在相关性,致使模型存在严重的病态性,如何有效的改善模型的病态性需要进一步研究。

[0007] 综上所述,基于 GPS 系统的网络 RTK 已经得到广泛应用,GPS/GLONASS 系统融合的网络 RTK 技术也较为成熟,但是基于北斗的网络 RTK 或者北斗与 GPS/GLONASS 系统融合的多系统网络 RTK 并未有太多研究。

## 发明内容

[0008] 发明目的：针对上述现有技术，提出一种附有宽巷约束的北斗三频网络 RTK 模糊度单历元固定方法，可以单历元快速求解北斗三频网络 RTK 双差模糊度。

[0009] 技术方案：一种附有宽巷约束的北斗三频网络 RTK 模糊度单历元固定方法，包括如下步骤：

[0010] 步骤 (1)，进行周跳探测与修复预处理工作；

[0011] 步骤 (2)，建立基于参考站的双差观测模型；

[0012] 步骤 (3)，采用载波和伪距的组合解算出两个超宽巷整周模糊度；

[0013] 步骤 (4)，单历元解算 BDS 的 B1、B2、B3 载波频段对应的基础模糊度  $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ ；

[0014] 首先，联立超宽巷两个方程、无电离层组合两个方程和无几何组合两个方程；然后通过对所述三类六个方程进行定权，对 B1 载波频段基础模糊度  $N_1$  进行单历元固定，所述定权方法为：超宽巷方程：无电离层组合方程：无几何组合方程 = 1000 : 100 : 1；最后，根据所固定的 B1 载波频段基础模糊度  $N_1$ ，求得 B2、B3 载波频段对应的基础模糊度  $N_2$ 、 $N_3$ 。

[0015] 进一步地，所述步骤 (3) 中采用载波和伪距的组合解算出两个超宽巷整周模糊度具体步骤如下：采用式 (1) 和式 (2) 求解北斗的两个超宽巷模糊度：

$$[0016] \quad \Delta \nabla N_{(0,-1,1)} = \left[ \frac{\Delta \nabla P_{(0,-1,1)} - \Delta \nabla \Phi_{(0,-1,1)}}{\lambda_{(0,-1,1)}} \right] \quad (1)$$

$$[0017] \quad \Delta \nabla N_{(1,4,-5)} = \left[ \frac{\Delta \nabla P_{(1,0,0)} - \Delta \nabla \Phi_{(1,4,-5)}}{\lambda_{(1,4,-5)}} \right] \quad (2)$$

[0018] 其中， $[\ ]$  代表四舍五入算子， $\Delta \nabla$  为双差算子， $\Delta \nabla N_{(0,-1,1)}$ 、 $\Delta \nabla N_{(1,4,-5)}$  为北斗的两个超宽巷模糊度， $\Delta \nabla P_{(i,j,k)}$  是双差伪距组合观测值， $\Delta \nabla \Phi_{(i,j,k)}$  是双差相位组合观测值， $\lambda_{(i,j,k)}$  是组合后的波长；

[0019] 设 BDS 中使用的三个载波频率依次为  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ ，则双差伪距组合观测值、双差相位组合观测值分别为：

$$[0020] \quad \Delta \nabla P_{(i,j,k)} = \frac{i \cdot f_1 \cdot \Delta \nabla P_1 + j \cdot f_2 \cdot \Delta \nabla P_2 + k \cdot f_3 \cdot \Delta \nabla P_3}{i \cdot f_1 + j \cdot f_2 + k \cdot f_3} \quad (3)$$

$$[0021] \quad \Delta \nabla \Phi_{(i,j,k)} = \frac{i \cdot f_1 \cdot \Delta \nabla \Phi_1 + j \cdot f_2 \cdot \Delta \nabla \Phi_2 + k \cdot f_3 \cdot \Delta \nabla \Phi_3}{i \cdot f_1 + j \cdot f_2 + k \cdot f_3} \quad (4)$$

[0022] 其中，组合系数  $i$ 、 $j$ 、 $k$  为任意整数， $\Delta \nabla P_x$  为频率  $x$  上的双差伪距观测值， $\Delta \nabla \Phi_x$  为频率  $x$  上的双差相位观测值， $x = 1, 2, 3$  分别依次对应载波频率  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ ；

[0023] 组合模糊度  $\Delta \nabla N_{(i,j,k)}$ 、频率  $f_{(i,j,k)}$  和波长  $\lambda_{(i,j,k)}$  依次为：

$$[0024] \quad \Delta \nabla N_{(i,j,k)} = i \cdot \Delta \nabla N_1 + j \cdot \Delta \nabla N_2 + k \cdot \Delta \nabla N_3 \quad (5)$$

$$[0025] \quad f_{(i,j,k)} = i \cdot f_1 + j \cdot f_2 + k \cdot f_3 \quad (6)$$

$$[0026] \quad \lambda_{(i,j,k)} = \frac{c}{f_{(i,j,k)}} = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3}{i \cdot \lambda_2 \lambda_3 + j \cdot \lambda_1 \lambda_3 + k \cdot \lambda_1 \lambda_2} \quad (7)$$

[0027] 其中， $c$  为光速， $\lambda_i$  为频率  $i$  上的载波波长， $\Delta \nabla N_x$  为相应频率  $x$  上的双差模糊度，

$x = 1, 2, 3$  分别依次对应载波频率  $f_1, f_2, f_3$ 。

[0028] 作为本发明的优选方案,所述步骤(4)中,针对非整数系数组合:

[0029] 无电离层组合的组合电离层延迟因子为 0,对于三种无电离层组合,其中任意两种都可以表示第三种,即存在线性相关性;对于三种无几何组合,轨道和对流层延迟均为 0,但存在电离层误差,其中任意两种都可以表示第三种,即存在线性相关性;

[0030] 在超宽巷中选择两个,无电离层组合中选择两个,无几何组合中选择两个,组成三类六个方程,解算三个模糊度,即:

$$[0031] \begin{pmatrix} 0 & -1 & 1 \\ 1 & 4 & -5 \\ \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} & -\frac{f_1 f_2}{f_1^2 - f_2^2} & 0 \\ \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_3^2} & 0 & -\frac{f_1 f_3}{f_1^2 - f_3^2} \\ \lambda_1 & -\lambda_2 & 0 \\ \lambda_1 & 0 & -\lambda_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} N_{(0,-1,1)} \\ N_{(1,4,-5)} \\ \Delta\nabla\Phi_{IF(1,2)} - \Delta\nabla\rho \\ \Delta\nabla\Phi_{IF(1,3)} - \Delta\nabla\rho \\ \Delta\nabla\Phi_{GF(1,2)} \\ \Delta\nabla\Phi_{GF(1,3)} \end{pmatrix} \quad (8)$$

[0032] 其中,  $\Delta\nabla\Phi_{IF(i,j)}$  是无电离层组合的双差载波观测值,  $\Delta\nabla\Phi_{GF(i,j)}$  是无几何组合的双差载波观测值;

[0033] 根据所述三类六个方程解算三个模糊度参数,然后通过对所述三类六个方程进行定权,对 B1 载波频段基础模糊度  $N_1$  进行单历元固定,所述定权方法为:超宽巷方程:无电离层组合方程:无几何模型 = 1000 : 100 : 1;最后,根据所 B1 载波频段基础模糊度  $N_1$ ,求得 B2、B3 载波频段对应的基础模糊度  $N_2, N_3$ 。

[0034] 有益效果:本方法在使用伪距和载波的组合确定北斗超宽巷模糊度基础上,再联立无电离层组合和无几何组合方程,根据这三类方程各自的误差特点进行合理的定权,从而可以单历元快速求解北斗三频网络 RTK 双差模糊度,明显缩短北斗三频网络 RTK 初始化时间,提高模糊度快速解算的准确性和效率。

## 附图说明

[0035] 图 1 是测试网的卫星可视图;

[0036] 图 2 是载波伪距组合单历元解算  $N(0, -1, 1)$  与正确值之差;

[0037] 图 3 是载波伪距组合单历元解算  $N(1, 4, -5)$  与正确值之差;

[0038] 图 4 是宽巷约束法单历元解算  $N(1, 0, 0)$  与正确值之差;

[0039] 图 5 是无电离层组合单历元解算的基线解算误差图。

## 具体实施方式

[0040] 下面结合附图对本发明做更进一步的解释。

[0041] 一种附有宽巷约束的北斗三频网络 RTK 模糊度单历元固定方法,包括如下步骤:

[0042] 步骤(1),进行周跳探测与修复预处理工作;

[0043] 步骤(2),建立基于参考站的双差观测模型;

[0044] 步骤(3),采用载波和伪距的组合解算出两个超宽巷整周模糊度;

[0045] 步骤 (4), 单历元解算 BDS 的 B1、B2、B3 载波频段对应的基础模糊度  $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ :

[0046] 首先, 联立超宽巷两个方程、无电离层组合两个方程和无几何组合两个方程, 解算三个模糊度参数; 然后通过所述三类六个方程进行定权, 对 B1 载波频段基础模糊度  $N_1$  进行单历元固定, 所述定权方法为: 超宽巷方程: 无电离层组合方程: 无几何组合方程 = 1000 : 100 : 1; 最后, 根据所 B1 载波频段基础模糊度  $N_1$ , 求得 B2、B3 载波频段对应的基础模糊度  $N_2$ 、 $N_3$ 。

[0047] 步骤 (3) 中采用载波和伪距的组合解算出两个超宽巷整周模糊度具体步骤如下: 采用式 (1) 和式 (2) 求解北斗的两个超宽巷模糊度:

$$[0048] \quad \Delta \nabla N_{(0,-1,1)} = \left[ \frac{\Delta \nabla P_{(0,-1,1)} - \Delta \nabla \Phi_{(0,-1,1)}}{\lambda_{(0,-1,1)}} \right] \quad (1)$$

$$[0049] \quad \Delta \nabla N_{(1,4,-5)} = \left[ \frac{\Delta \nabla P_{(1,0,0)} - \Delta \nabla \Phi_{(1,4,-5)}}{\lambda_{(1,4,-5)}} \right] \quad (2)$$

[0050] 其中,  $[\ ]$  代表四舍五入算子,  $\Delta \nabla$  为双差算子,  $\Delta \nabla N_{(0,-1,1)}$ 、 $\Delta \nabla N_{(1,4,-5)}$  为北斗的两个超宽巷模糊度,  $\Delta \nabla P_{(i,j,k)}$  是双差伪距组合观测值,  $\Delta \nabla \Phi_{(i,j,k)}$  是双差相位组合观测值,  $\lambda_{(i,j,k)}$  是组合后的波长;

[0051] 设 BDS 中使用的三个载波频率依次为  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ , 则双差伪距组合观测值、双差相位组合观测值分别为:

$$[0052] \quad \Delta \nabla P_{(i,j,k)} = \frac{i \cdot f_1 \cdot \Delta \nabla P_1 + j \cdot f_2 \cdot \Delta \nabla P_2 + k \cdot f_3 \cdot \Delta \nabla P_3}{i \cdot f_1 + j \cdot f_2 + k \cdot f_3} \quad (3)$$

$$[0053] \quad \Delta \nabla \Phi_{(i,j,k)} = \frac{i \cdot f_1 \cdot \Delta \nabla \Phi_1 + j \cdot f_2 \cdot \Delta \nabla \Phi_2 + k \cdot f_3 \cdot \Delta \nabla \Phi_3}{i \cdot f_1 + j \cdot f_2 + k \cdot f_3} \quad (4)$$

[0054] 其中, 组合系数  $i$ 、 $j$ 、 $k$  为任意整数,  $\Delta \nabla P_x$  为频率  $x$  上的双差伪距观测值,  $\Delta \nabla \Phi_x$  为频率  $x$  上的双差相位观测值,  $x = 1, 2, 3$  分别依次对应载波频率  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ ;

[0055] 组合模糊度  $\Delta \nabla N_{(i,j,k)}$ 、频率  $f_{(i,j,k)}$  和波长  $\lambda_{(i,j,k)}$  依次为:

$$[0056] \quad \Delta \nabla N_{(i,j,k)} = i \cdot \Delta \nabla N_1 + j \cdot \Delta \nabla N_2 + k \cdot \Delta \nabla N_3 \quad (5)$$

$$[0057] \quad f_{(i,j,k)} = i \cdot f_1 + j \cdot f_2 + k \cdot f_3 \quad (6)$$

$$[0058] \quad \lambda_{(i,j,k)} = \frac{c}{f_{(i,j,k)}} = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3}{i \cdot \lambda_2 \lambda_3 + j \cdot \lambda_1 \lambda_3 + k \cdot \lambda_1 \lambda_2} \quad (7)$$

[0059] 其中,  $c$  为光速,  $\lambda_i$  为频率  $i$  上的载波波长,  $\Delta \nabla N_x$  为相应频率  $x$  上的双差模糊度,  $x = 1, 2, 3$  分别依次对应载波频率  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ 。

[0060] 假设双差伪距观测值等精度, 且

$$[0061] \quad \sigma_{\Delta \nabla P_1} = \sigma_{\Delta \nabla P_2} = \sigma_{\Delta \nabla P_3} = \sigma_{\Delta \nabla P} = 0.5m \quad (8)$$

[0062] 则解算的浮点模糊度精度为:

$$[0063] \quad \sigma_{\Delta \nabla N_{(0,-1,1)}} = \frac{1}{\lambda_{(0,-1,1)}} \sqrt{\sigma_{\Delta \nabla P_2}^2 + \sigma_{\Delta \nabla P_3}^2 + \sigma_{\Delta \nabla \Phi_2}^2 + \sigma_{\Delta \nabla \Phi_3}^2} \quad (9)$$

[0064]  $\sigma_{\Delta \nabla P_x}$ 、 $\sigma_{\Delta \nabla \Phi_x}$  分别为频率  $x$  上的双差伪距和双差载波观测值精度,  $x = 1, 2, 3$  分别

依次对应载波频率  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ ;

[0065]  $BDS\Delta\nabla N_{(0,-1,1)}$  的理论中误差为 0.1448 周,因此,单历元能可靠地固定北斗中长基线超宽巷模糊度  $\Delta\nabla N_{(0,-1,1)}$ 。

[0066] 考虑到残留电离层误差的影响,则由 (2) 式可以导出求解浮点模糊度精度为:

$$[0067] \quad \sigma_{\Delta\nabla N_{(1,4,-5)}} = \frac{1}{\lambda_{(1,4,-5)}} \sqrt{\sigma_{\Delta\nabla R_1}^2 + \sigma_{\Delta\nabla\Phi_1}^2 + 4^2 \sigma_{\Delta\nabla\Phi_2}^2 + 5^2 \sigma_{\Delta\nabla\Phi_3}^2 + (0.3479 \cdot \Delta\nabla I)^2} \quad (10)$$

[0068] 其中,  $\Delta\nabla I$  为双差电离层误差;

[0069]  $BDS\Delta\nabla N_{(1,4,-5)}$  的理论中误差为 0.0962 周,单历元求解完全满足要求。

[0070] 步骤 (4) 中,根据长基线双差残留对流层、电离层和轨道误差的影响,则双差相位组合观测方程为:

$$[0071] \quad \Delta\nabla\Phi_{(i,j,k)} = \Delta\nabla\rho + \Delta\nabla\delta_{orb} + \Delta\nabla\delta_{trop} - \beta_{(i,j,k)} \frac{\Delta\nabla K}{f_1^2} - \lambda_{(i,j,k)} \Delta\nabla N_{(i,j,k)} + \Delta\nabla\varepsilon\Phi_{(i,j,k)} \quad (11)$$

[0072] 其中,  $\Delta\nabla\rho$  为双差站星距,  $\Delta\nabla\delta_{trop}$ 、 $\Delta\nabla K$  和  $\Delta\nabla\delta_{orb}$  分别为双差对流层延迟、电离层延迟参数和轨道误差,  $\Delta\nabla\varepsilon\Phi_{(i,j,k)}$  为双差相位组合观测值噪声;

[0073] 组合电离层延迟因子为:

$$[0074] \quad \beta_{(i,j,k)} = \frac{f_1^2(i/f_1 + j/f_2 + k/f_3)}{f_{(i,j,k)}} \quad (12)$$

[0075] 双差组合观测值噪声为:

$$[0076] \quad \Delta\nabla\varepsilon\Phi_{(i,j,k)} = \frac{i \cdot f_1 \Delta\nabla\varepsilon\Phi_1 + j \cdot f_2 \Delta\nabla\varepsilon\Phi_2 + k \cdot f_3 \Delta\nabla\varepsilon\Phi_3}{f_{(i,j,k)}} \quad (13)$$

[0077]  $\Delta\nabla\varepsilon\Phi_i$  为频率  $i$  上的载波观测值噪声;

[0078] 其中,双差观测值噪声包含了残留多路径效应和高阶电离层延迟的影响。

[0079] 在求出两个超宽巷后,再求其他整数组合意义不是很大,因为对于各种组合中,如果保证噪声、电离层等放大系数与波长比值较好的组合基本是线性相关的。所以需要寻求非整数组合,在非整数组合中,无电离层组合和无几何模型是较为常用的。

[0080] 针对非整数组合:

[0081] (1) 无电离层组合的  $\beta_{(i,j,k)} = 0$ ,对于三种无电离层组合,其中任意两种都可以表示第三种,即存在线性相关性,如公式 (14) 所示:

$$[0082] \quad \text{rank}(A) = \text{rank} \begin{pmatrix} \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} & \frac{f_1 f_2}{f_1^2 - f_2^2} & 0 \\ \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_3^2} & 0 & -\frac{f_1 f_3}{f_1^2 - f_3^2} \\ 0 & \frac{f_2^2}{f_2^2 - f_3^2} & -\frac{f_2 f_3}{f_2^2 - f_3^2} \end{pmatrix} = 2 \quad (14)$$

[0083]  $\text{rank}$  为求矩阵的秩,  $m \times n$  矩阵  $A$  的秩最大为  $m$  和  $n$  中的较小者,表示为  $\min(m, n)$ ,若  $\text{rank}(A) < \min(m, n)$ ,则说明矩阵  $A$  中的行向量或列向量是线性相关的;

[0084] (2) 对于无几何组合,轨道和对流层延迟均为 0,但存在电离层误差;对于三种无



几何组合,存在线性相关性,即公式(15)所示:

$$[0085] \quad \text{rank}(B) = \text{rank} \begin{pmatrix} \lambda_1 & -\lambda_2 & 0 \\ \lambda_1 & 0 & -\lambda_3 \\ 0 & \lambda_2 & -\lambda_3 \end{pmatrix} = 2 \quad (15)$$

[0086] 在超宽巷中选择两个方程,无电离层组合中选择两个方程,无几何组合中选择两个方程,组成三类六个方程,解算三个模糊度,即:

$$[0087] \quad \begin{pmatrix} 0 & -1 & 1 \\ 1 & 4 & -5 \\ \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} & -\frac{f_1 f_2}{f_1^2 - f_2^2} & 0 \\ \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_3^2} & 0 & -\frac{f_1 f_3}{f_1^2 - f_3^2} \\ \lambda_1 & -\lambda_2 & 0 \\ \lambda_1 & 0 & -\lambda_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} N_{(0,-1,1)} \\ N_{(1,4,-5)} \\ \Delta\nabla\Phi_{IF(1,2)} - \Delta\nabla\rho \\ \Delta\nabla\Phi_{IF(1,3)} - \Delta\nabla\rho \\ \Delta\nabla\Phi_{GF(1,2)} \\ \Delta\nabla\Phi_{GF(1,3)} \end{pmatrix} \quad (16)$$

[0088] 其中,  $\Delta\nabla\Phi_{IF(i,j)}$  是无电离层组合的双差载波观测值,  $\Delta\nabla\Phi_{GF(i,j)}$  是无几何组合的双差载波观测值;

[0089] 在公式(16)中,两个超宽巷是以单历元计算出来,作为正确值;两个无电离层组合中,影响较大的是双差轨道误差和对流层误差,其中对流层误差可以通过模型修正大部分;两个无几何组合中影响最大的是双差电离层误差,且双差电离层误差较难通过模型减弱。根据所述三类六个方程解算三个模糊度参数,然后通过所述三类六个方程进行定权,对B1载波频段基础模糊度  $N_1$  进行单历元固定,所述定权方法为:超宽巷方程:无电离层组合方程:无几何模型 = 1000 : 100 : 1;最后,根据所B1载波频段基础模糊度  $N_1$ ,求得B2、B3载波频段对应的基础模糊度  $N_2$ 、 $N_3$ 。

[0090] 下面算例以一组北斗三频实验网为例,测站位置分别位于某大学楼顶 LX02(其中楼顶有兩台北斗三频接收机, LX01 为与 LX02 形成短基线测试),江苏南通(JSNT)和上海(SHSN)三地,观测时间为2013年4月10日,采样率1秒,选取其中1000历元,卫星可视图见图1所示,其中基线 LX02- > JSNT 长度为167km,可见卫星为C01, C03, C04, C06, C07, C09, C10共7颗卫星,其中C09作为参考卫星。基线 LX02- > SHSN 长度为265km,可见卫星为C01, C02, C03, C04, C06, C07, C09, C10共8颗卫星,其中C09作为参考卫星。基线 JSNT- > SHSN 长度为181km,可见卫星为C01, C03, C04, C06, C07, C09, C10共7颗卫星,其中C07作为参考卫星。

[0091] 在进行周跳探测与修复等预处理后,首先解算两个超宽巷  $N_{(0,-1,1)}$  和  $N_{(1,4,-5)}$ ,使用载波和伪距组合即公式(1)和(2)。如图2所示,使用公式(1)计算出来的结果波动幅度虽然较大,但对于三条基线都能保证在0.3周之内,与理论上分析的中误差0.1448周相符合。

[0092] 对于模糊度  $N_{(1,4,-5)}$ ,如图3所示,使用公式(2)伪距和载波组合后,其与正确模糊度之间差值能控制在0.5周之内,与理论分析的中误差为0.0962周有较明显的区别,主要原因在于使用伪距和载波组合时,仍有一部分电离层误差存在在方程中。

[0093] 由以上分析可知,在三频中长基线中的两个超宽巷模糊度能通过伪距和载波组合

单历元固定。

[0094] 在固定两个超宽巷模糊度后,使用本发明提出的基于宽巷约束的北斗三频网络 RTK 模糊度单历元固定方法对 B1 基础模糊度进行单历元固定,在此,由于超宽巷是正确值,两个无电离层组合中的双差对流层延迟可以使用模型较有效的削弱,两个无几何模型中的双差电离层延迟无法通过模型减弱,所以需要三类方程进行合理定权,在此使用的定权方法为:超宽巷方程:无电离层组合方程:无几何模型=1000:100:1。由图4可知,在使用这个权值比时,三条基线的 B1 模糊度全部能单历元固定。

[0095] 在固定 B1 模糊度后,即可求得 B2 和 B3 的模糊度,在解算出基础模糊度后,使用无电离层组合模型进行单历元基线解算,由图5可知,三条基线的 N 和 E 方向与真实值之差都能满足 0.05 米之内,在 U 方向上存在一定的抖动,主要原因并非是模糊度解算错误,而是 BDS 中在这个时段的卫星高度角普遍较高而造成的高程方向的扰动。

[0096] 综上分析可知,使用基于宽巷约束的三频网络 RTK 模糊度单历元固定方法能有效的固定网络 RTK 中长基线的模糊度,其应用的核心主要是三种方程之间的合理定权,在实际应用中,还需要根据具体气候变化及区域适应性对权值比进行适当的经验性的调整,以保证算法的稳定性。

[0097] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

站名:LIXI 北斗可视卫星图

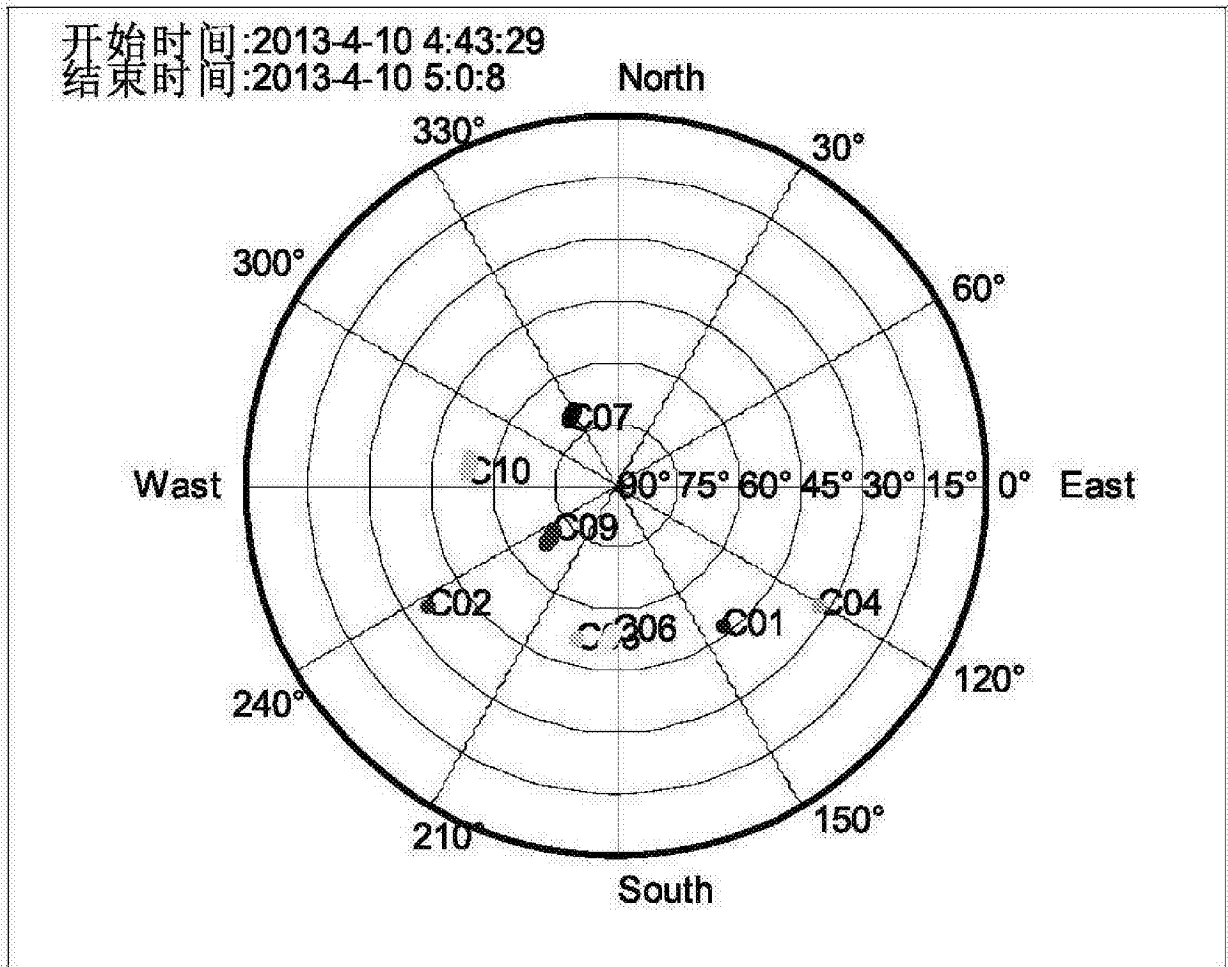
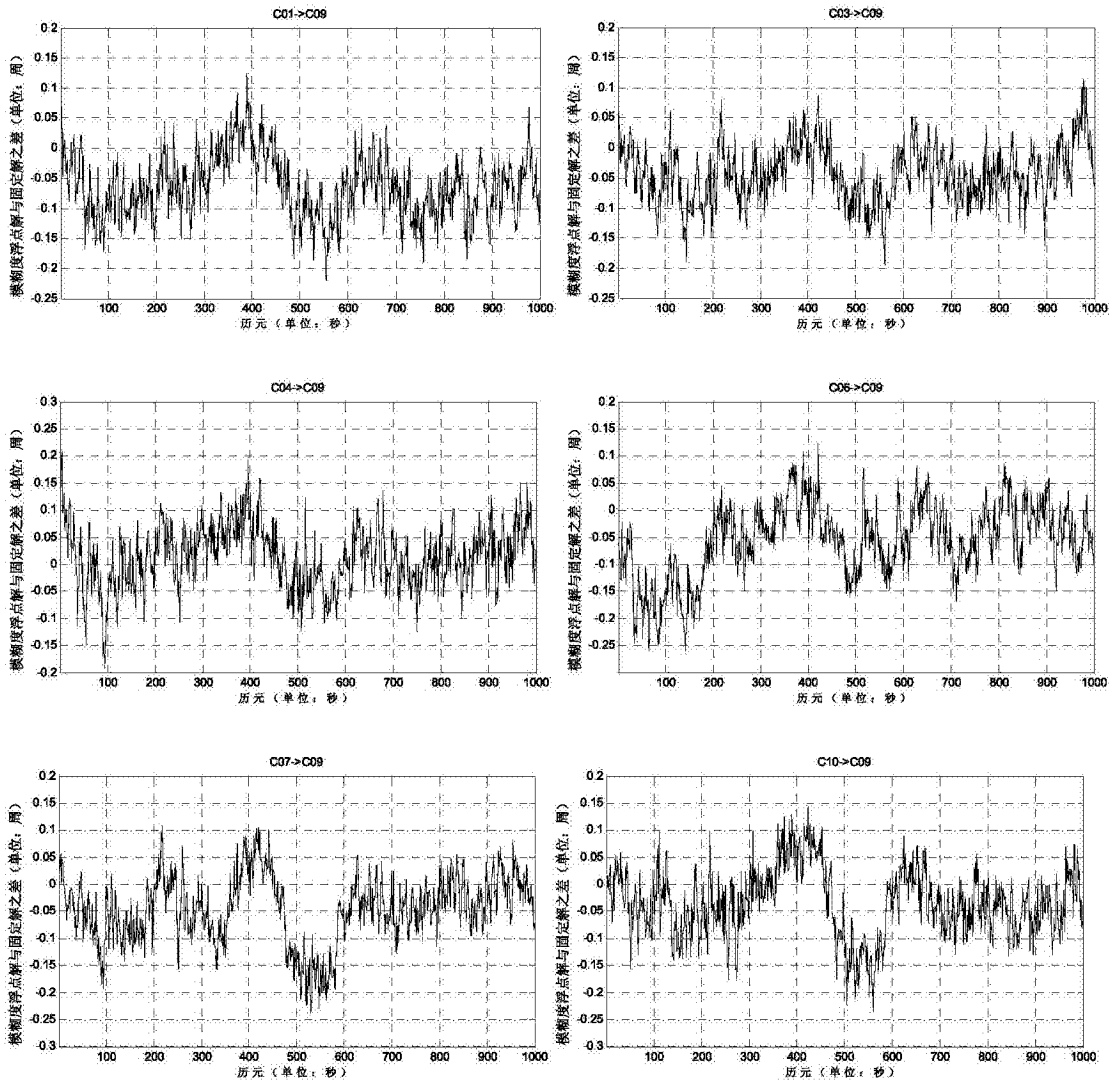
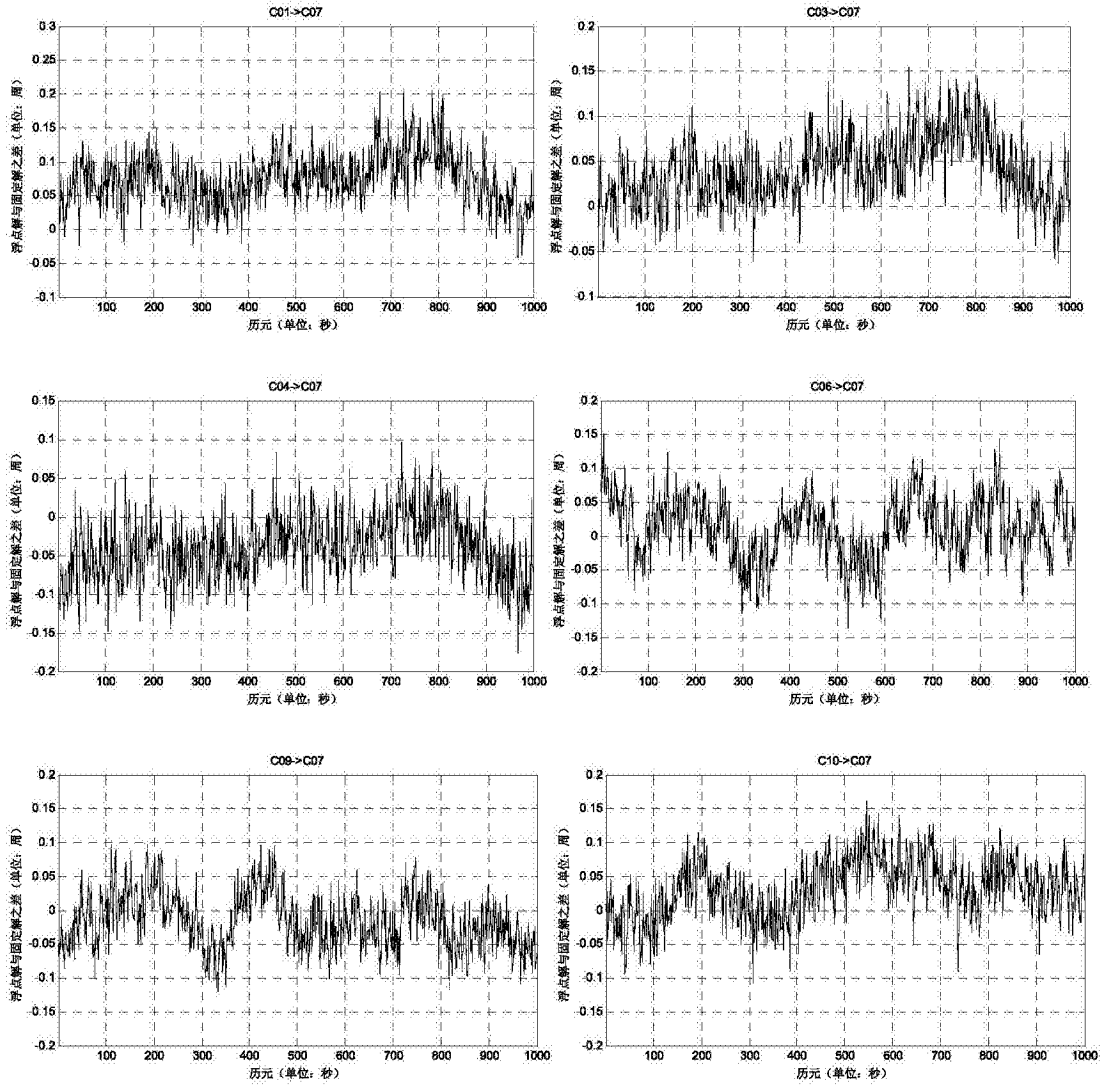


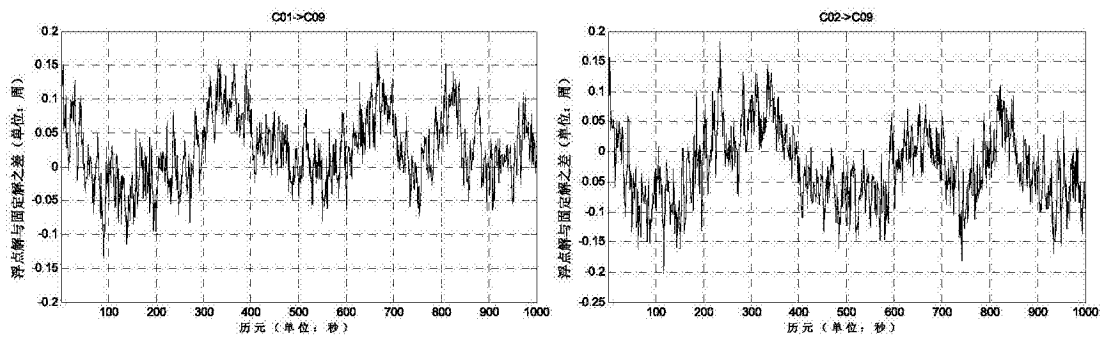
图 1

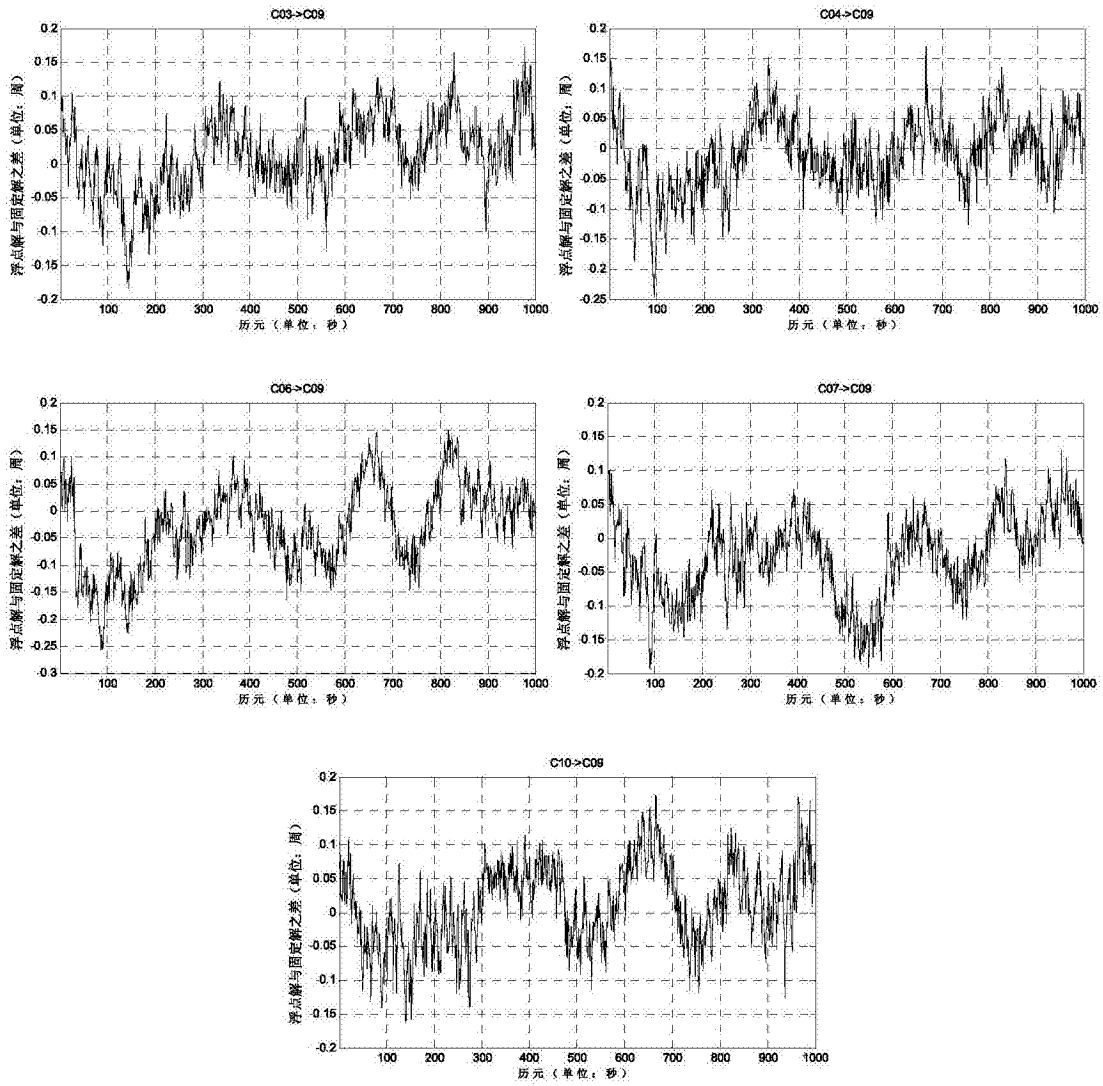


(a) LX02->JSNT



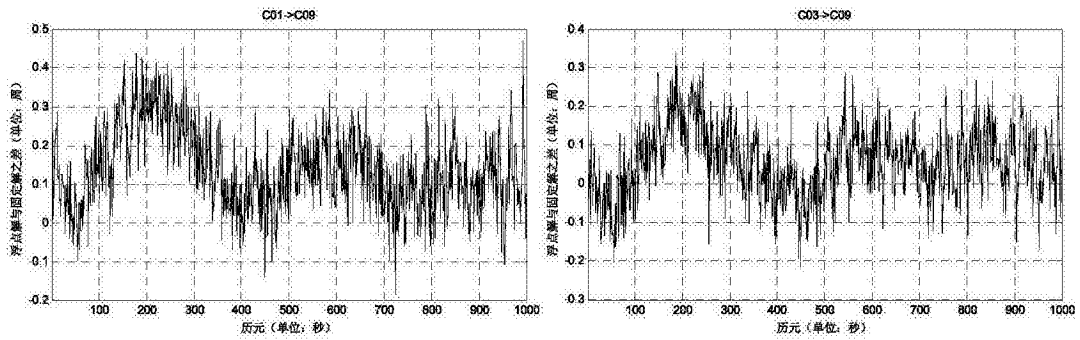
(b) JSNT->SHSN

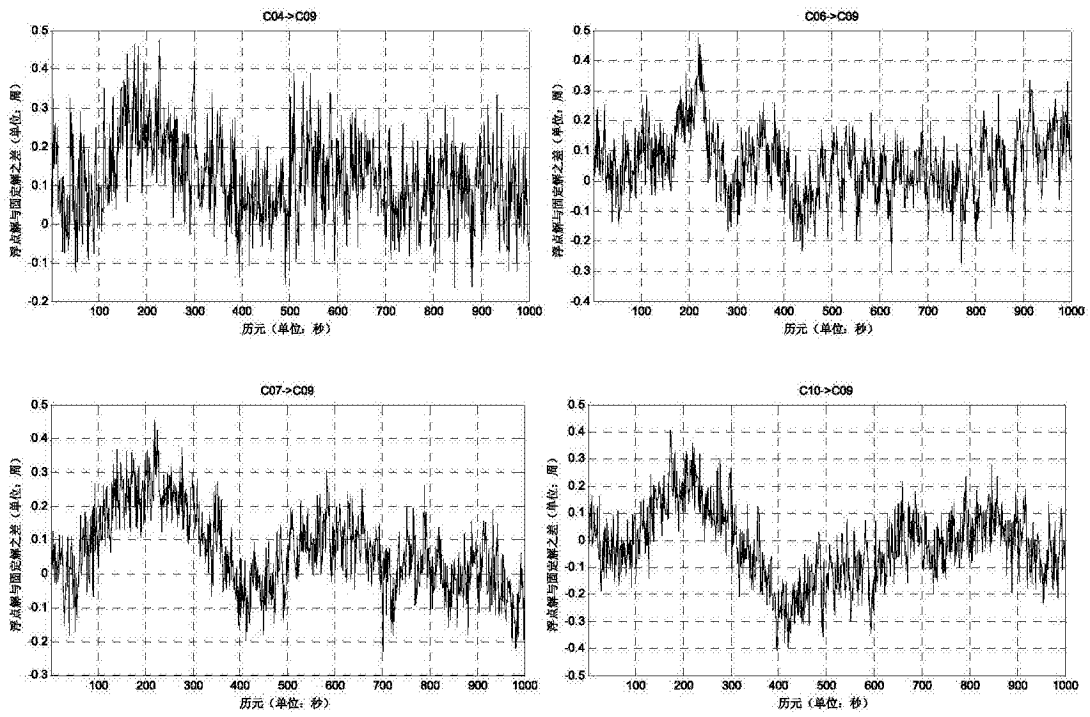




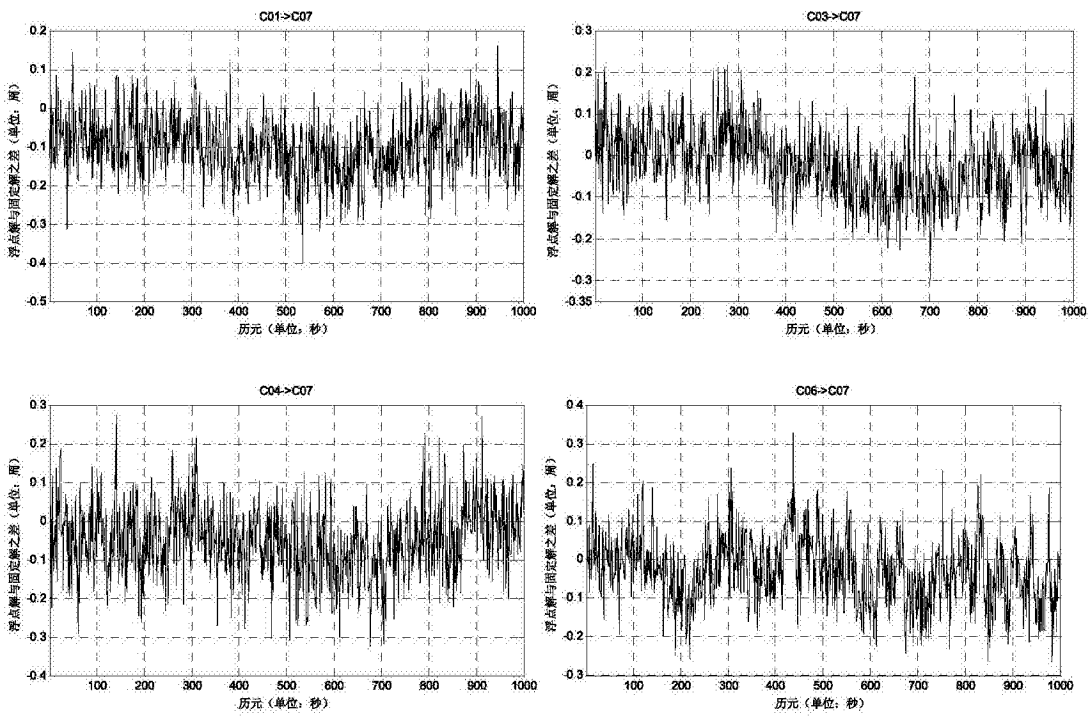
(c) LX02->SHSN

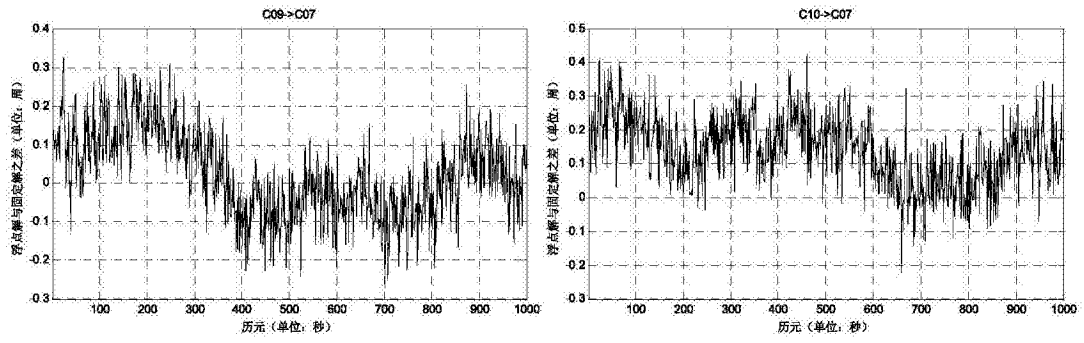
图 2



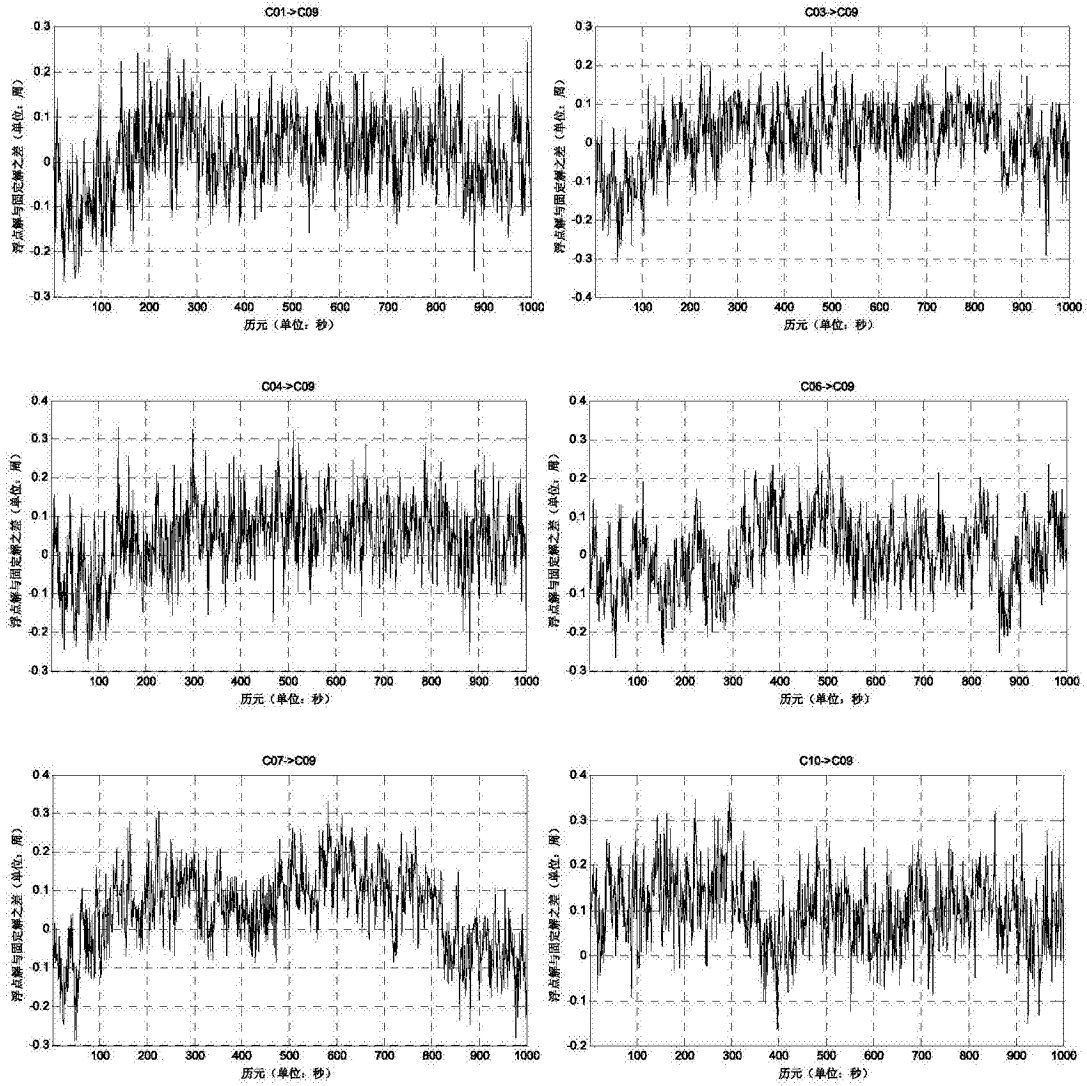


(a) LX02->JSNT





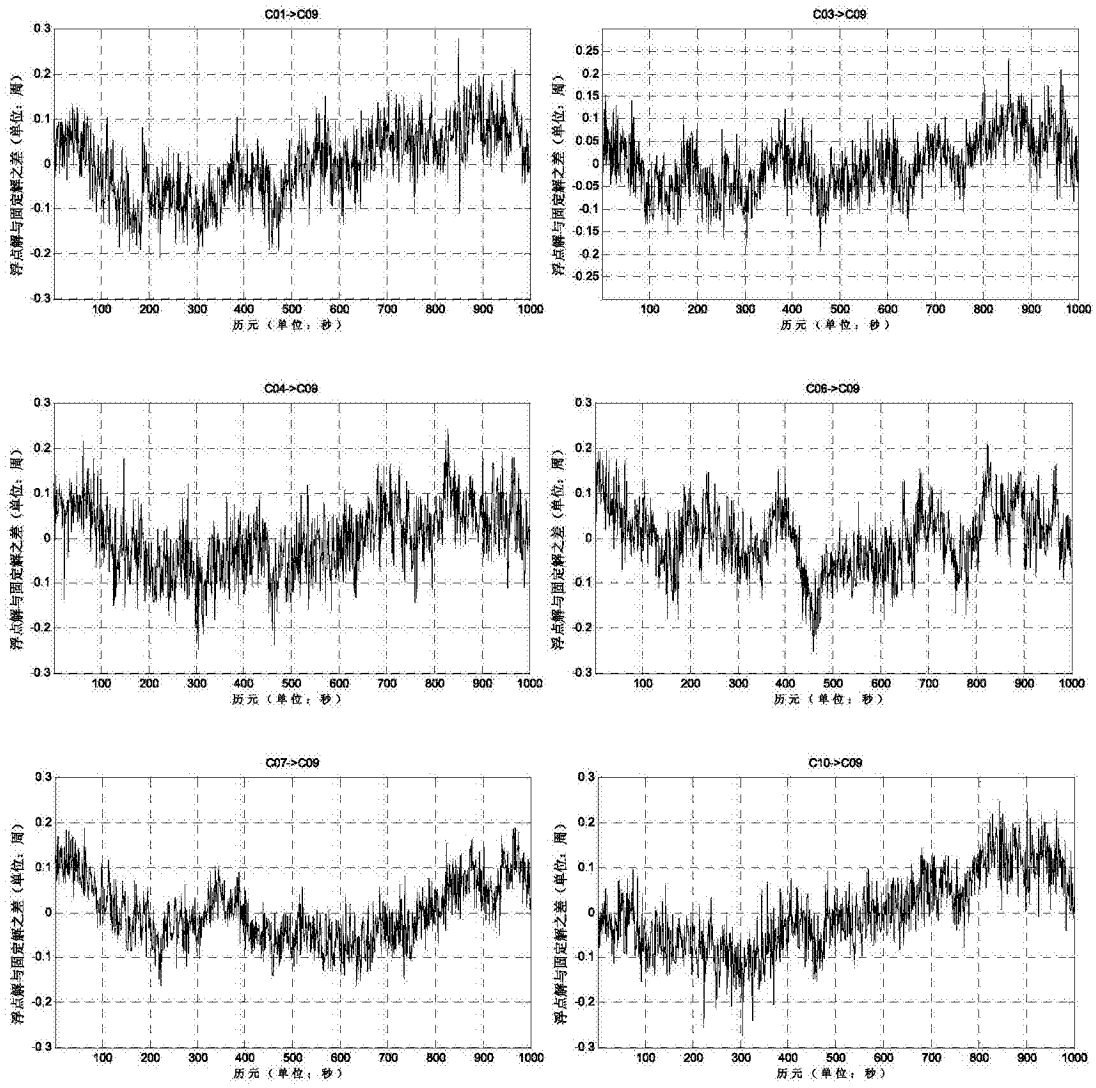
(b) JSNT->SHSN



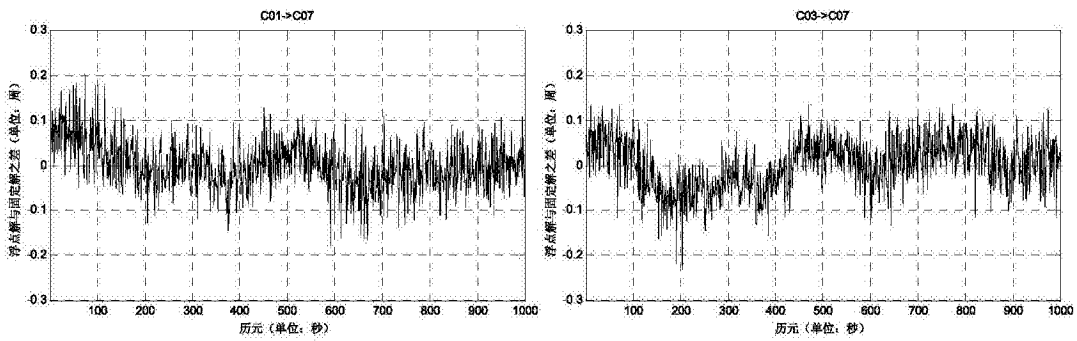
(c) LX02->SHSN

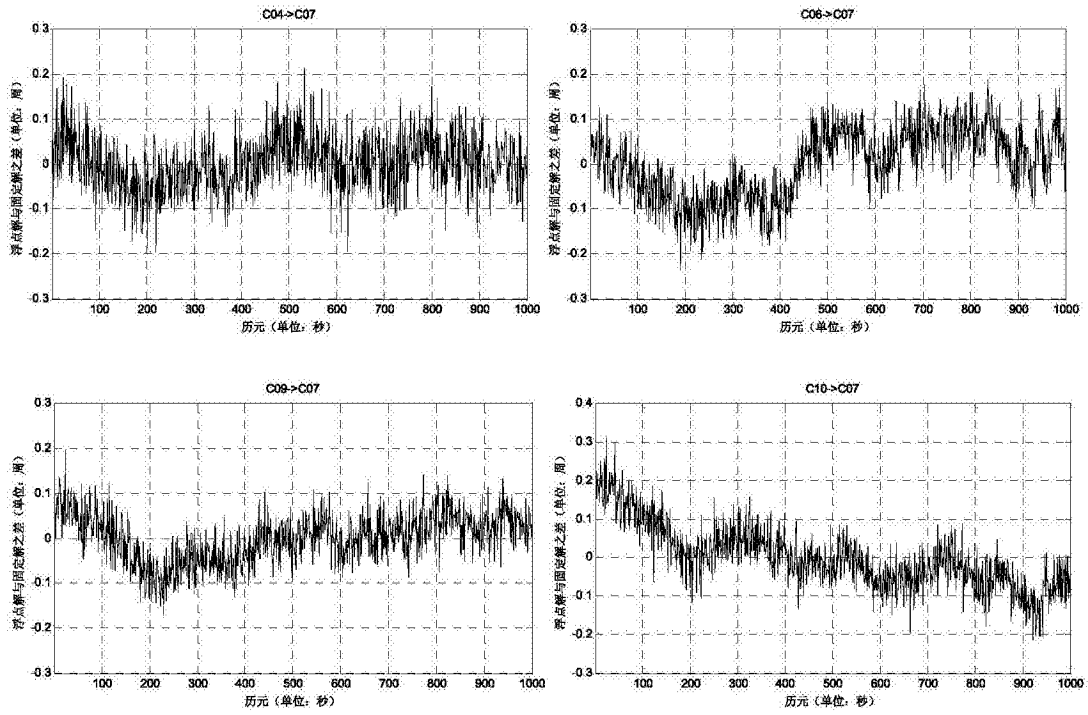
图 3



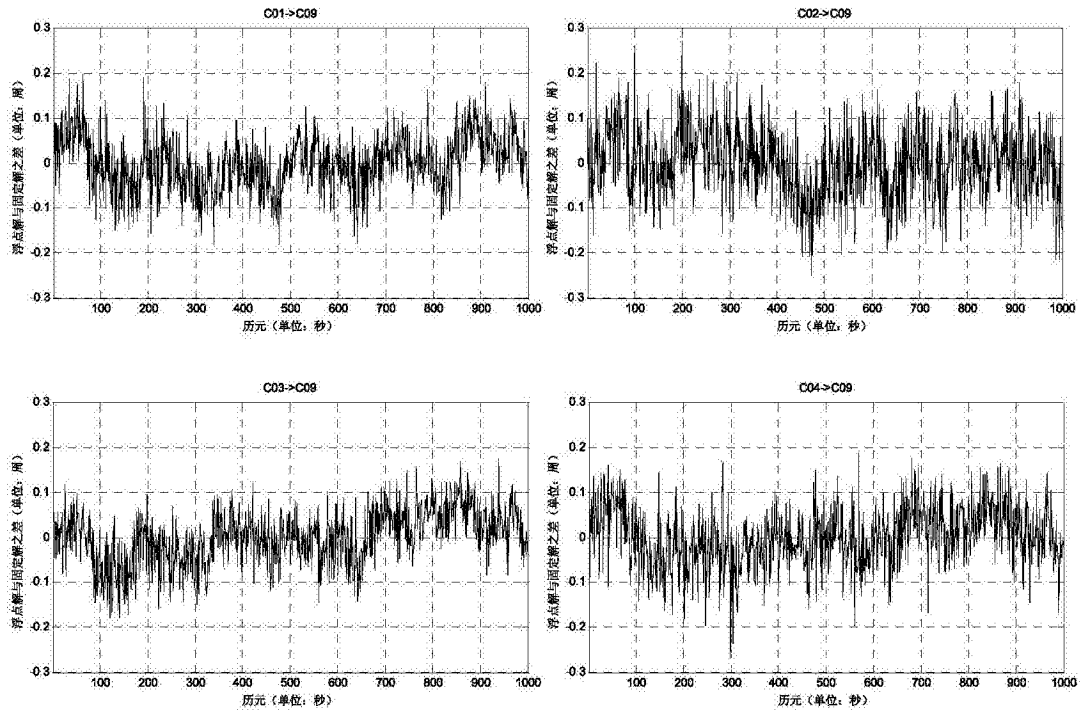


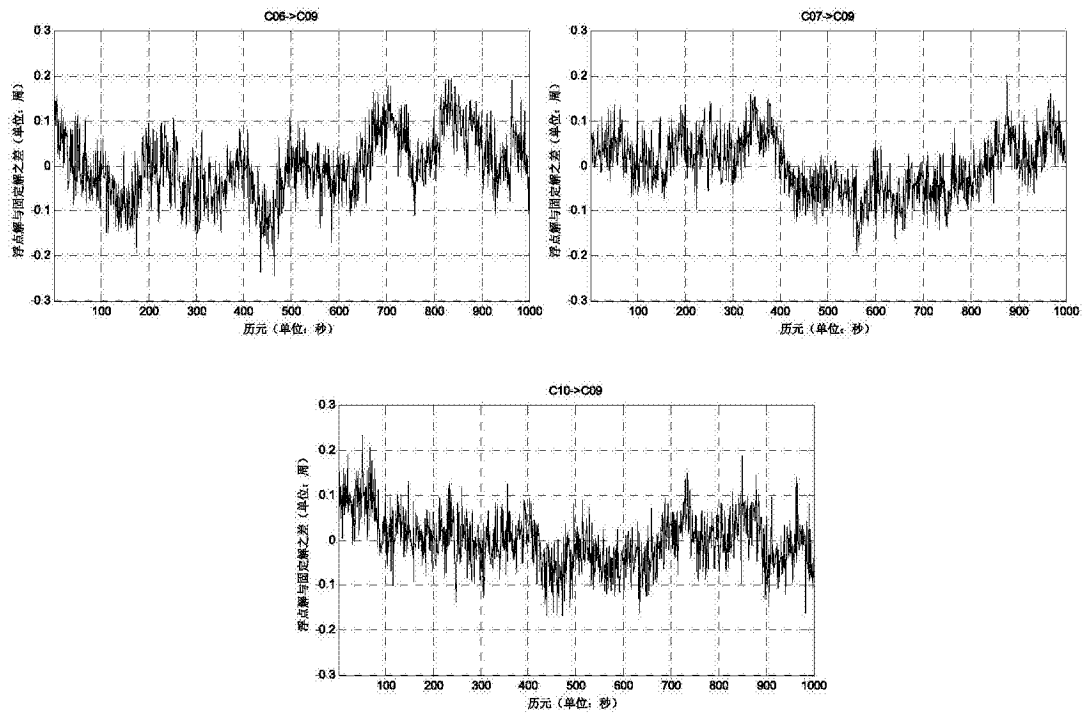
(a) LX02->JSNT





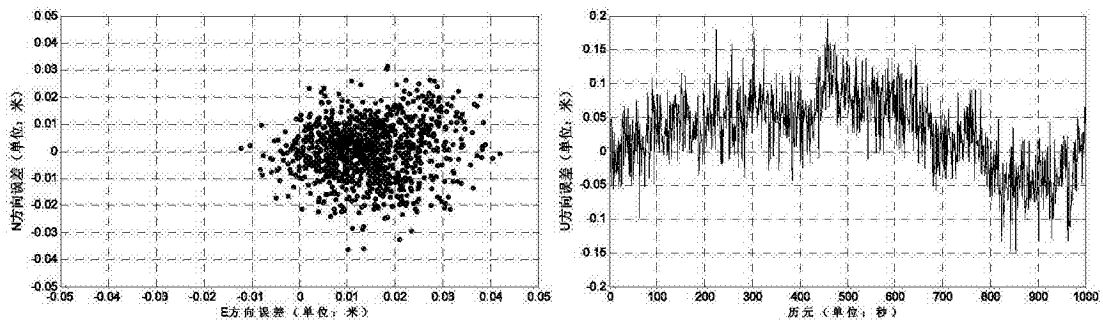
(b) JSNT->SHSN



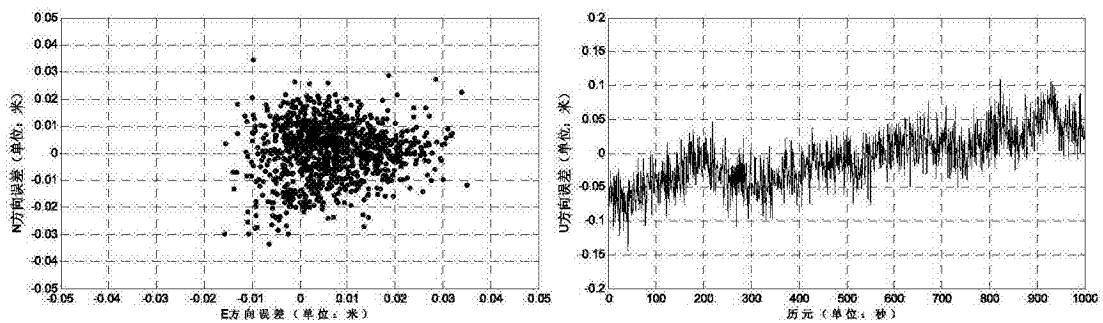


(c) LX02->SHSN

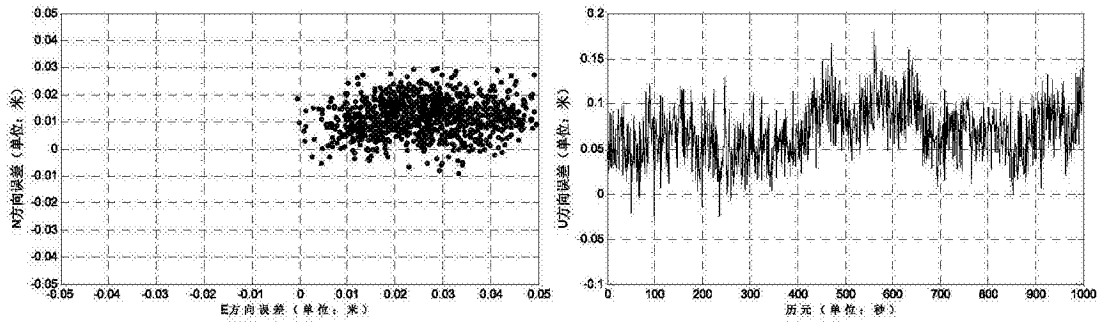
图 4



(a) LX02->JSNT



(b) JSNT->SHSN



(c) LX02->SHSN

图 5