

GNSS Double Antennas Posture Determination System Based on Carrier Phase

Wei He, Baowang Lian, Chengkai Tang

Northwestern Polytechnological University, Xi'an, People Republic of China

heweizj@163.com

Abstract: In the current technical conditions, INS devices are usually used to determine the posture of the carrier. But the posture of the carrier will transpire over time. So that it will not work to determine the posture of the carrier for a long time. A kind of double antennas posture determination system based on carrier phase are designed to solve this problem. The simulink result shows us that this system can determine the posture and position of the carrier. It can also upgrade the whole performance of the system. This system solves all these problems in just one GNSS receiver, reduces the complexity of the system.

Keywords: GNSS receiver ; Carrier Phase ; double antennas ; posture determination

基于载波相位的GNSS双天线定姿系统的研究

何伟 , 廉保旺, 唐成凯

西北工业大学, 西安 710072

heweizj@163.com

【摘要】在目前的技术条件下,随着智能载体发展,智能载体的方向不再局限于一个平面,而需要知道它的整体姿态,对于载体姿态的测定常采用惯性器件。但是应用传统惯性器件测定的姿态角随着时间而漂移,对于长时间姿态测定来说使用该方法存在较大的问题积累误差。为了解决测定出的载体姿态随时间漂移的问题,针对时间漂移误差,设计了基于载波相位的GNSS双天线定姿系统。仿真结果表明该方法可有效测定载体的姿态,同时还可以给出载体的位置信息,提高系统的整体性能。同时该系统在一个接收机中同时实现了定位和定姿,大大有效降低了系统的复杂度。

【关键字】GNSS接收机;载波相位;双天线;定姿

1、引言

近年来,卫星定位系统的得到了广泛的应用,给人们的日常生活带来了极大的便利。同时,对于GNSS定位系统的研究也越来越深入。对于GNSS接收机的研究也从简单的定位、定速发展到出了组合导航定位系统、差分接收机以及多天线定姿系统等^[1]。同时,参与定位的距离信息也从伪距改进到载波相位。随着对GNSS定位系统研究的深入,GNSS定位系统的应用范围也变得越来越广泛^[2]。

文献[3]提出了利用GNSS接收机可以提供位置信息的优点,设计出了基于伪距的GNSS双天线定姿系统。但是传统的GNSS双天线定姿系统对定位精度的要求高,同时要分别解算两个天线的位置信息,运算量巨大。本文设计了一种基于载波相位的GNSS双天线定姿系统,利用载波相位信息来实现对载体

方位角和俯仰角信息的测定。同时该GNSS双天线定姿系统采用通道切换的方式消除了通道间时延的差别,进一步提高了载波相位定姿的精度。

2、载波相位定姿系统模型

2.1 载波相位定姿系统的设计

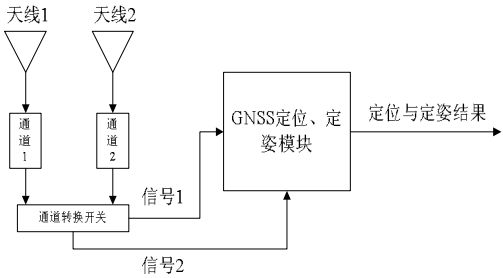


图1 载波相位定姿系统

本文设计的基于载波相位的GNSS双天线定姿系统有两根GNSS天线以及相应的射频通道模块,整体系统如图1所示。

2.2 GNSS定位定姿模块的设计

GNSS 定位定姿模块同时可以实现位置测定与姿态测定的功能,该模块是通过在原始的 GNSS 接收机的跟踪环路中增加一路调制与解扩模块来实现,该模块的设计原理图如下,两路信号分别进行解调与解扩,通过使用同样的 C/A 码和载波进行解扩与解调^[4],保证两路鉴别器鉴别出的载波相位具有可比性,能

够正确反映两路信号的载波相位差。

对于进入的两路信号,以线路一的信号作为基准信号,对其进行捕获与跟踪的过程,保证本地载波和 C/A 码与线路一的信号同步,同时利用同步之后的本地载波与 C/A 码以及鉴别器鉴二计算出本地载波与线路二信号载波的相位差。最后与鉴别器一鉴别出的本地载波与线路一信号载波的相位差进行融合即可得到线路一信号与线路二信号的载波相位差^[5]。

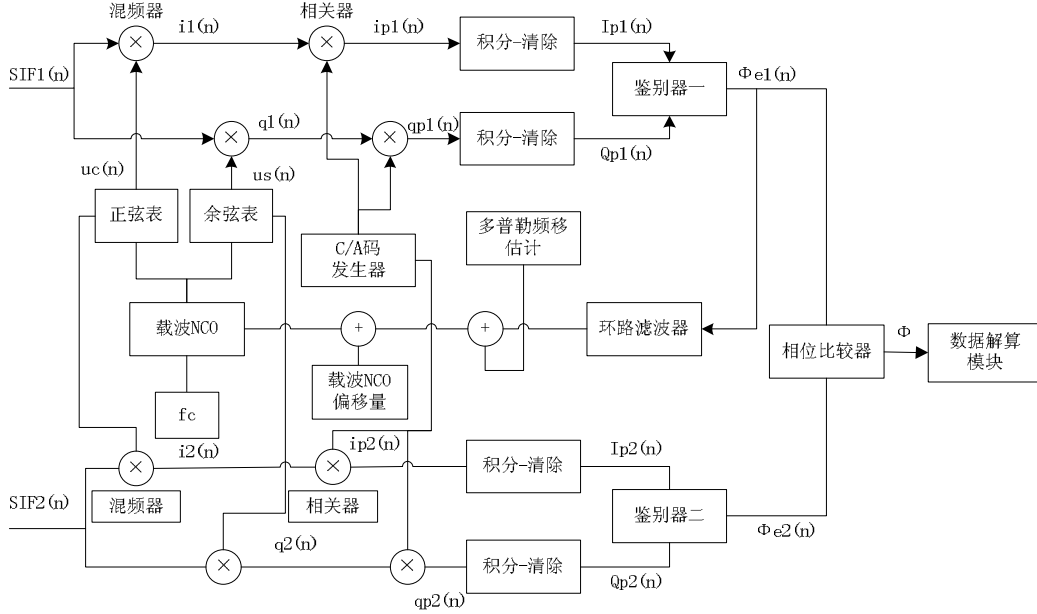


图 2 GNSS 定位定姿模块

3、载波相位定姿原理

3.1 载波相位的提取

本文设计的 GNSS 双天线定姿系统是基于载波相位的定姿系统,因为载波相位能够提供更高的精度帮助实现定姿解算。因此本文的研究重点就是在于提取两路信号的载波相位,通过比较两路信号的载波相位差 Φ ,即两路信号之间的时延 δt 。

对于单独一路信号来说,可以通过 GNSS 接收机中捕获与跟踪的过程来复制与线路一相位相同的码和载波,可以近似认为本地产生的码和载波与线路一进来的信号的码和载波的相位是一致的。这时利用本地的码和载波对线路二的信号进行解扩与解调,最终可以通过相位鉴别器二鉴别出本地载波与线路二信号的载波相位差 Φ 。

3.2 通道切换

设线路一进入的信号的载波相位为 $\Phi 1(n)$,线路二进入的信号的载波相位为

$$\Phi 2(n), \text{ 则两路信号的相位差 } \Phi \text{ 为}$$

$$\Phi = \Phi 1(n) - \Phi 2(n) \quad (1)$$

但是由于两路信号进入不同的通道,还需要考虑两路通道造成的时延 δt_1 和 δt_2 ,所以线路一和线路二的实际测量得到的载波相位 $\Phi_e 1(n)$ 和 $\Phi_e 2(n)$ 分别如下式所示

$$\Phi_e 1(n) = \Phi 1(n) + \delta t_1 \quad (2)$$

$$\Phi_e 2(n) = \Phi 2(n) + \delta t_2 \quad (3)$$

实际测得的两路信号的相位差 Φ_e 为

$$\Phi_e = \Phi_e 1(n) - \Phi_e 2(n) + \delta t_1 - \delta t_2 \quad (4)$$

我们可以看到经过不同的通道后,由于通道时延 δt_1 和 δt_2 不同,通过相位鉴别器测得的相位差 Φ 会受到严重的影响。为了消除这种误差,在每次进行相位鉴别时,首先测定一组正常的相位差 Φ_1 ,即天线一的信号通过通道一,天线二的信号通过通道二。 Φ_1 满足式 5。之后通过通道转换开关,将两路天线的信号输入不同的通道可以测得交叉后的相位差 Φ_2 , Φ_2 满足式 6。将 Φ_1 与 Φ_2 相加即可消

除通道时延带来的误差,得到真实的载波相位 Φ 。

$$\Phi_1 = \Phi_e 1(n) - \Phi_e 2(n) + \delta t_1 - \delta t_2 \quad (5)$$

$$\Phi_2 = \Phi_e 1(n) - \Phi_e 2(n) + \delta t_2 - \delta t_1 \quad (6)$$

3.3 基线长度的确定以及天线的排布

由于行为鉴别器只能鉴别出一个相位周期内的相位,所以为了避免整周数的存在,两个天线之间的距离应该设定为载波的半个波长即 $\lambda/2$ 。

同时,天线的排布采用纵向排布的方式,利用纵向排布的方式可以在低计算量的条件下获得基线矢量的解。利用基线矢量的解再结合方向余弦矩阵即可求得载体的方位角 y 以及俯仰角 p 。所以,要求测量的载体的方位角 y 和俯仰角 p ,首先要获得精确的基线矢量 $r^i = (x^i, y^i, z^i)$ 。

3.4 载波相位定姿算法

由于卫星与两个天线的距离远远大于基线长度 $\lambda/2$,所以可以近似的认为两个天线到目标卫星的连线是互相平行的,所以通过相位比较器得到的两路信号的相位误差 Φ 可以转化为两天线与卫星的距离差 δS 。由距离误差 δS 可得基线矢量与卫星与天线的连线矢量的夹角 θ 。设天线与 i 号卫星(对接收到的卫星进行从 1 到 N 的标号)的连线矢量为 $r^i = (x^i, y^i, z^i)$,基线矢量为 (x, y, z) ,测出夹角为 θ_i ,则满足如下公式

$$x \cdot x^i + y \cdot y^i + z \cdot z^i = \cos \theta^i |r^i| \cdot \lambda/2 \quad (7)$$

当收到 N 颗卫星的时候,可得如下一组公式

$$\begin{cases} x \cdot x^1 + y \cdot y^1 + z \cdot z^1 = \cos \theta^1 |r^1| \cdot \lambda/2 \\ x \cdot x^2 + y \cdot y^2 + z \cdot z^2 = \cos \theta^2 |r^2| \cdot \lambda/2 \\ \dots \quad \dots \quad \dots \\ x \cdot x^N + y \cdot y^N + z \cdot z^N = \cos \theta^N |r^N| \cdot \lambda/2 \end{cases} \quad (8)$$

对式 8 进行简化,可化为如下的形式

$$G \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = b \quad (9)$$

$$G = \begin{bmatrix} x^1 & y^1 & z^1 \\ x^2 & y^2 & z^2 \\ \dots & \dots & \dots \\ x^N & y^N & z^N \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$b = \begin{bmatrix} \cos \theta^1 |r^1| \cdot \lambda/2 \\ \cos \theta^2 |r^2| \cdot \lambda/2 \\ \dots \\ \cos \theta^N |r^N| \cdot \lambda/2 \end{bmatrix} \quad (11)$$

当有 3 颗以上的卫星时,利用最小二乘法^[6]即可得到基线矢量 (x, y, z) ,基线矢量 (x, y, z) 的解如式 12 所示。该基线矢量的值是在 WGS-84 坐标系下的表示结果,要求得方位角 y 以及俯仰角 p ,还应将其转化到当地水平坐标系下,由 WGS-84 坐标系到当地水平坐标系的方向余弦矩阵 C_E^L 如式 13 所示,其中 λ 和 φ 封面别为经度和纬度,近而由式 14 可以将基线矢量的值由 WGS-84 坐标系下的 (x, y, z) 转化为当地水平坐标系下的基线矢量 (x^L, y^L, z^L) 。

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = (G^T \cdot G)^{-1} \cdot G^T \cdot b \quad (12)$$

$$C_E^L = \begin{bmatrix} -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$(x^L, y^L, z^L) = C_E^L \cdot (x, y, z) \quad (14)$$

在得到基线矢量在当地水平坐标系下的结果 (x^L, y^L, z^L) ,由式 15、16 即可求得 GNSS 双天线定姿系统的方位角方位角 y 以及俯仰角 p 。

$$y = \arctan(-x^L / y^L) \quad (15)$$

$$p = \arcsin(z^L / |r^i|) \quad (16)$$

4、仿真结果与分析

设计了如下的静态仿真测试来验证基于载波相位的 GNSS 双天线定姿系统定位算法的性能。仿真软件采用 MATLAB,仿真的坐标系为 WGS-84 坐标系与东北天坐标系,位置为东经 108.9089°、北纬 34.2439°、高度 395.8526m,初始速度为(0,0,0),经过计算由 WGS-84 坐标系到东北天坐标系的方向余弦矩阵 C_E^L 为 $\{-0.9460 \ -0.3241 \ 0; -0.1824 \ -0.5323 \ 0.8266; -0.2679 \ 0.782 \ 0.5627\}$ 。仿真时间为 100 秒,载波环的抖动范围为 3°,静态载体的方位角和俯仰角分别为 60°和 30°,可以接收到的卫星数目为四颗,基线长度设为

15cm。同时还仿真了一组对比数据，仿真了 INS 器件的定姿结果，陀螺仪的零偏稳定度为 $0.03^{\circ}/s$ ，载体的初始方位角和俯仰角分别为 60° 和 30° ，数据刷新率为 50Hz，仿真时间 100s。

仿真结果如图 3、4 所示，图 3 基于载波相位的双天线定姿系统的定姿结果，图 4 为基于 MEMS 的陀螺仪的定姿结果。由图中可以看出，基于载波相位的双天线定姿系统得到了正确的载体姿态信息，但是由基于 MEMS 的陀螺仪得到的定姿结果随着时间而发散。

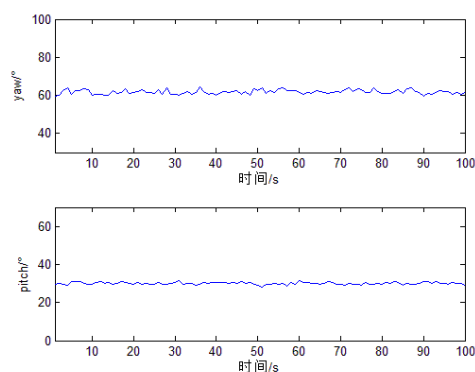


图 3 GNSS 双天线定姿系统仿真结果

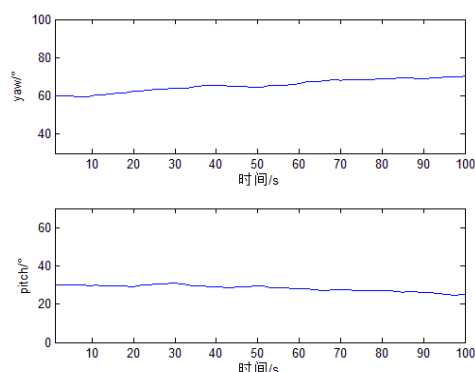


图 4 基于 MEMS 陀螺仪的姿态仿真结果

5、 结论

本文所设计的基于载波相位的 GNSS 双天线定姿系统可以有效地对载体的方位角和俯仰角进行测量。同时相对于传统的 INS 定姿系统，基于载波相位的 GNSS 双天线定姿系统计算出的载体姿态不会随着时间发散。同时相对于传统的双天线定姿算法，该定姿算法省去了解算两个天线各自的位置的步骤，运算量得到大大的降低，有效提高了系统整体的效率。

参考文献

- [1] O. M. Makloulf, Y. El halwagy, M. Beumi, And S. D. Hassan. Cascade

Kalman Filter Application in GPS/INS Integrated Navigation for Car like Robot[C].National Radio Science Conference,2009.

- [2] 曾庆化, 刘建业, 彭文明, 等.我国卫星导航系统相关技术发展分析[J].航天控制, 2006, 24(4):91—96
- [3] 纪文章 王宝发.多天线GPS 定姿接收机设计与实现[J].电子测量技术, 2006,27(3):4422447.
- [4] 谢刚.GPS原理与接收机设计[M].北京：电子工业出版社，2009.
- [5] 途亮清.基于载波相位干涉测量的双星定向技术研究[D].博士学位论文，长沙：国防科学技术大学，2005
- [6] 寇艳红 译.GPS原理与应用[M].北京：电子工业出版社，2007

作者简介：何伟(1988 -)，男，河南焦作人，博士生，主要研究方向为GNSS/INS紧耦合组合导航定位系统研究。

邮箱：heweizj@163.com