

文章编号:1009-671X(2004)01-0017-03

# 基于 DSP 的光纤陀螺捷联惯导系统的设计

杨兴光,李绪友,丛 丽

(哈尔滨工程大学 自动化学院,黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘 要:**简单介绍了基于光纤陀螺的捷联惯导系统的设计,相对于平台惯导系统捷联系统有很多优点,硬件简单,便于安装、维修和维护,大大降低了系统的成本,但捷联算法运算量大,因此用运算速度高的 DSP 作为解算单元,可以满足要求.给出了捷联惯导系统的数学模型以及方框图,重点介绍了系统的软件实现,给出了流程图.所有这一切已应用于实践,结果证明这一设计切实可行.

**关 键 词:**光纤陀螺;捷联惯导系统;DSP

**中图分类号:**U666.12 **文献标识码:**A

## Design of SINS of IFOG based on DSP

YANG Xing-guang, LI Xu-you, CONG Li

(School of Automation, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

**Abstract:**The research of SINS based on DSP was introduced briefly in this paper. Compared with PINS, the SINS has many advantages, such as simple hardware, easy to use and maintain, there by reducing the cost. But it has large number of operation, so DSP is used to meet the demand. The maths-model and the block diagram of the SINS were given. The emphasis was put on the realization of the software. The program and its flowchart were given. All this has been put into effect and the result shows that the research is applicable.

**Key words:**IFOG;SINS;DSP

捷联惯导系统是一种将惯性敏感元件固联在机体上的导航系统,其惯性敏感元件目前多采用机械陀螺和气体激光陀螺.随着保偏光纤和超辐射光源的开发,光纤陀螺的研制成为现实.这种装置仅由固态元件组成,不需要任何机械装置.捷联系统中由数学平台代替物理平台,运算量很大,需要处理器有较高的运行速度.因此选用 TI 公司的 TMS320C32DSP 芯片,其运行速度可达 50 MFLOPS(每秒执行百万条指令),可以满足要求.并已经研制出光纤陀螺样机,其漂移误差小于  $0.05^\circ/\text{h}$ ,更高精度的陀螺正在进一步的研制中.

### 1 捷联惯导系统简介

捷联式惯性导航系统是相对于平台惯导系统而言的,它将惯性敏感元件直接安装在运载载体上,陀螺测量运载载体姿态变化,加速度计测量运载载体

瞬时方向加速度值,通过计算机解算程序得到速度、位置和姿态信息,供控制、导航使用.

### 2 DSP 在捷联惯导系统中的应用

#### 2.1 捷联惯导系统的原理和数学模型

捷联惯导系统原理方框图如图 1 所示.

图 1 中,  $b$  为机体坐标系,  $p$  为平台坐标系,  $e$  为地球坐标系,  $i$  为惯性坐标系.

在给定导航初始条件的情况下,为完成导航任务,首先应通过一定的初始对准方法来获得初始捷联矩阵  $T_0$ ,然后即可根据原理图的流程进行导航计算.

简单的数学模型分以下几步:

#### 1) 姿态计算

$$\dot{Q} = \frac{1}{2} Q [\bar{\omega}_{pb}^b]_4, \quad (1)$$

收稿日期:2003-01-14.

作者简介:杨兴光(1978-),男,硕士研究生,主要研究方向:导航、制导与控制.

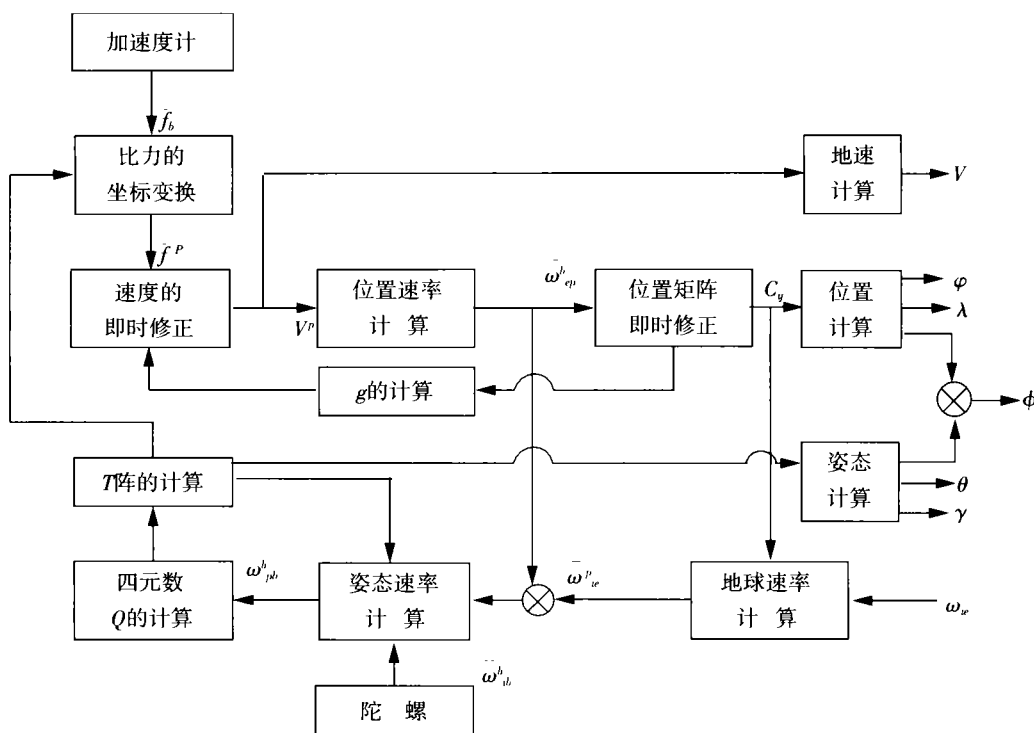


图 1 捷联惯导系统原理方框图

$$Q = \frac{\hat{Q}}{\sqrt{\hat{q}_0^2 + \hat{q}_1^2 + \hat{q}_2^2 + \hat{q}_3^2}}$$

( $\hat{Q}$  为修正前的四元数), (2)

$$\bar{\omega}_{pb}^b = \bar{\omega}_{ib}^b - \bar{\omega}_{sp}^b = \bar{\omega}_{ib}^b - T^{-1}(\bar{\omega}_{ep}^p + \bar{\omega}_{er}^p), (3)$$

$$T = \begin{bmatrix} q_0^2 + q_1^2 - q_2^2 - q_3^2 & 2(q_1q_2 - q_0q_3) & 2(q_1q_3 + q_0q_2) \\ 2(q_1q_2 + q_0q_3) & q_0^2 - q_1^2 + q_2^2 - q_3^2 & 2(q_2q_3 - q_0q_1) \\ 2(q_1q_3 - q_0q_2) & 2(q_2q_3 + q_0q_1) & q_0^2 - q_1^2 - q_2^2 + q_3^2 \end{bmatrix}, (4)$$

$$\begin{aligned} \theta &= \arcsin T_{32}, \\ \gamma &= \arctan(-T_{31}/T_{33}), \\ \phi_0 &= \arctan(-T_{12}/T_{22}), \end{aligned} (5)$$

2) 位置计算

$$\begin{bmatrix} \omega_{epx}^p \\ \omega_{epy}^p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_{yp}} & -\frac{1}{R_{yp}} \\ \frac{1}{R_{xp}} & \frac{1}{R_{xp}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x^p \\ V_y^p \end{bmatrix}, (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{yp}} &= \frac{1}{R_e}(1 - eC_{33}^2 + 2eC_{23}^2), \\ \frac{1}{R_{xp}} &= \frac{1}{R_e}(1 - eC_{33}^2 + 2eC_{13}^2), \\ \frac{1}{R_e} &= \frac{2e}{R_e}C_{13}C_{23}, \end{aligned} (7)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{C}_{11} & \dot{C}_{12} & \dot{C}_{13} \\ \dot{C}_{21} & \dot{C}_{22} & \dot{C}_{23} \\ \dot{C}_{31} & \dot{C}_{32} & \dot{C}_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\omega_{epx}^p \\ 0 & 0 & \omega_{epy}^p \\ \omega_{epx}^p & -\omega_{epy}^p & 0 \end{bmatrix} \times$$

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix}, (8)$$

$$\begin{aligned} \varphi &= \arcsin C_{33}, \\ \lambda &= \arctan(C_{32}/C_{31}), \\ \alpha &= \arctan(-C_{13}/C_{23}). \end{aligned} (9)$$

3) 速度计算

$$g = 9.7803 + 0.051799C_{33}^2, (10)$$

$$\begin{bmatrix} V_x^p \\ V_y^p \\ V_z^p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x^p \\ f_y^p \\ f_z^p \end{bmatrix} -$$

$$\begin{bmatrix} 0 & -2\omega_{erz}^p & 2\omega_{ery}^p + \omega_{epx}^p \\ 2\omega_{erz}^p & 0 & -(2\omega_{erx}^p + \omega_{epy}^p) \\ -(2\omega_{ery}^p + \omega_{epx}^p) & 2\omega_{erx}^p + \omega_{epy}^p & 0 \end{bmatrix} \times$$

$$\begin{bmatrix} V_x^p \\ V_y^p \\ V_z^p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{bmatrix}. (11)$$

## 2.2 捷联惯导系统的结构

系统的结构简图如图 2 所示,陀螺和加速度计采集的数据经过 A/D 转换,经过 DSP 的外部中断,把数据送给 DSP, DSP 通过定时器中断进入捷联惯导解算程序,处理过的数据通过串口发送给计算机,计算机中用 VC 编写的接收程序,将接收到的数据存入文件,并将数据的变化以曲线的形式在屏幕上显示出来. 通过这个流程可以明显看出,在导航过程中姿态角、速率和位置等导航参数的变化.

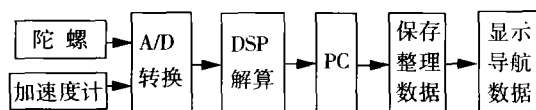


图 2 系统结构简图

## 2.3 捷联惯导系统的软件实现

对 C32 的开发可以用汇编语言,也可以用 C 语言. 使用汇编语言优点在于运行速度快、可以充分利用芯片的硬件特性,但开发速度较慢,程序的可读性差;而 C 语言的优势在于编程容易、调试快速、可读性好,可以大大缩短开发周期,可是对于其片内的没有映射地址的特殊功能寄存器用 C 语言是不能操作的,如 IF 和 IE, AR0-AR7 等等. 因此,只有充分利用汇编语言和 C 语言的特点,才能编写出效率高、易维护的程序. 本文用到的是汇编语言和 C 语言的混合编程. 在数据接收过程中,由于要用到串口、并口、数据的移位、添加标志符以及硬件中断,并且要频繁对寄存器进行操作,因此用汇编语言进行编程,可以比较容易控制硬件操作. 在数据处理过程中,由于要用到捷联惯导的解算算法,其中有很多复杂的公式,因此用 C 语言进行编程,增强程序的可读性,并且容易修改维护. 另外,在计算过程中用到 FFT 算法,对运算速度要求较高,而 TMS320C32 中由于有循环寻址方式,因此用汇编语言实现. 软件流程图如图 3 所示. 在编程过程中,用汇编语言调用 C 语言函数,整个捷联算法作为一个子函数,它的入口地址放在 DSP 的定时器中断向量表中. 这样,每当定时时间到,执行一遍捷联算法. 由于使用 C 语言时,系统默认的入口地址是 main,不能另设入口地址,因此这里把汇编语言的入口地址设为 main,可以满足要求. 在此,由于篇幅所限,具体程序不再给出.

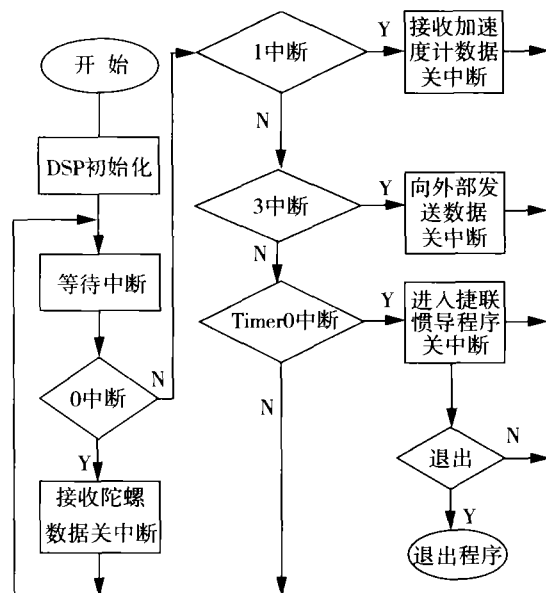


图 3 软件流程图

## 3 结 论

从试验结果来看,捷联系统的动态误差为  $\pm 15^\circ \times \sec \varphi$ ,  $\varphi$  为当地的地理纬度,定位误差为  $\pm 0.8^\circ \times \sec \varphi$ ,稳定时间为 10 min,更高精度的捷联惯导系统还在进一步的研究中. TMS320C32 DSP 可以满足捷联惯导系统对速度和精度的要求. 试验中定时器的周期设置为 0.02 s,即捷联惯导程序必须在 0.02 s 内执行完, DSP 的高速度使它可以满足这一要求,在运算过程中,浮点数字常采用 24 位,可以满足系统精度的要求. TMS320C32 DSP 共有 10 个内外中断,它们之间存在中断优先级,合理地使用这些中断,可以节约指令周期,提高程序效率. DSP 提供的 C 语言和汇编语言混合编程模式可以大大缩短开发周期,使程序可读性好,同时又可以充分利用汇编语言的特点,可以直接访问 DSP 的寄存器及进行其他硬件操作,大大提高系统的效率.

## 参 考 文 献:

- [1] 陈 哲. 捷联惯导系统原理[M]. 北京:宇航出版社,1986.
- [2] 李绪友,郝燕玲. 基于 FPGA 的数字闭环光纤陀螺研究[J]. 中国惯性技术学报,2002,10(2):39-43.
- [3] 吕 葵,杨剑宏. 基于 DSP 实现的数字化闭环光纤陀螺[J]. 中国惯性技术学报,2001,9(2):47-54.

[责任编辑:李雪莲]