基于DSP的SINS/GPS组合导航系统设计

赵月园　侯　研　程　凯
（长春工业大学 计算机科学与工程学院　吉林　长春　130021）

摘　要： 在分析组合导航计算系统的特点和应用要求后，提出基于DSP处理器和复杂可编程逻辑器件CPLD的导航计算机系统的设计方案。从硬件方面分别讲述DSP和CPLD的工作过程和功能，详述SINS/GPS组合导航系统的工作原理。试验结果表明，该系统完全满足组合导航系统的要求。

关键词： DSP；CPLD；IMU；组合导航
中图分类号： TP3　**文献标识码：** A　**文章编号：** 1671－7597（2010）1020064－01

0 引言

组合导航系统是一种实时性极强的系统，导航计算机不但要满足采样和数据处理速度快、运算精度高、系统稳定可靠等基本要求，还要求体积小、重量轻、成本低。为满足组合导航系统对小型化、高精度和实时性的要求，文中设计了以CPLD进行数据采集和通信，DSP作为核心处理器进行滤波、导航解算的导航计算机系统。

1 系统硬件设计

在组合导航系统中导航计算机主要有两类任务：1）数据输入输出。包括采集惯性测量单元(IMU)、全球定位系统(GPS)等传感器信号，接收初始对准数据、导航信息输出及控制等；2）导航解算和数据融合，包括初始对准、在线校正、数字滤波、捷联解算、误差补偿、数据融合等大量实时数值计算。硬件系统的结构框图如图1所示，整个系统主要由CPLD数据采集单元和DSP数据处理单元组成。用来采集和处理IMU中陀螺仪信号、加速度信号和GPS信号。

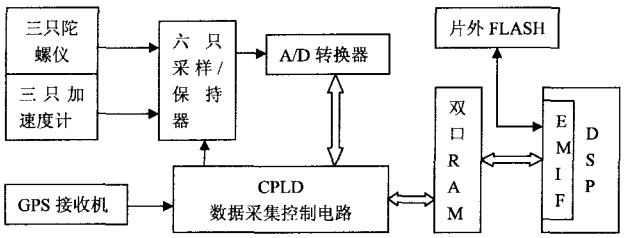

图1　导航计算机系统结构框图

其工作原理是：在定时器的中断信号控制下由CPLD完成对IMU各个轴的周期性采样（采样频率f=100Hz），将采集的IMU数据存储到双端口RAM中;GPS接收机秒脉冲信号1PPS（pulses per second）到来时重新初始化定时器，进行SINS与GPS的时间同步，GPS数据和通信延迟时间也都存储到双端口RAM中;DSP响应CPLD中断后读取双端口RAM中的SINS数据进行低通滤波和误差补偿、导航解算等，利用GPS数据和通信延迟时间，通过软件外推得到与SINS在同一时刻的数据，再进行数据融合。每隔1s执行一次数据融合与反馈校正。

1.1 数据采集单元

数据采集系统包括SINS数据采集系统和GPS数据采集系统。CPLD逻辑电路在设计中选用XILINX公司的XC95144XL这款CPLD，由于CPLD设计的灵活性,可以按照系统的需求设计内核电路。电路采用3个计数器实时采集加速度计输出并经过A/D转换后的脉冲信号，采用3个加法器实时累加3个陀螺仪输出的角速率信号。在采样周期的开始时，计数器和加法器分别同时开始计数和求和；在采样周期结束时，计数器和加法器中的数据存入缓存器，并采用中断信号，通知DSP来获取采集的数据；同时计数器和加法器清零，然后进入下一个数据采集周期。

1.2 DSP最小系统设计

组合导航系统需要实时采集大量数据，再加之各种解算、滤波等算法使系统的计算量很大，并且要求较高的计算精度，本设计中C6713高速浮点协处理器主要负责数据运算，只构成最小系统即可。DSPC6713有32位地址线，存储器寻址空间4G，具有256K的SRAM，因此不必再外扩片外的RAM。有16位的外部存储接口EMIF，为CPU访问外围设备提供了无缝接口。本设计中异步FLASH和双口RAM作为外部异步存储器与EMIF连接。双口RAM和FLASH与EMIF连接图所示：

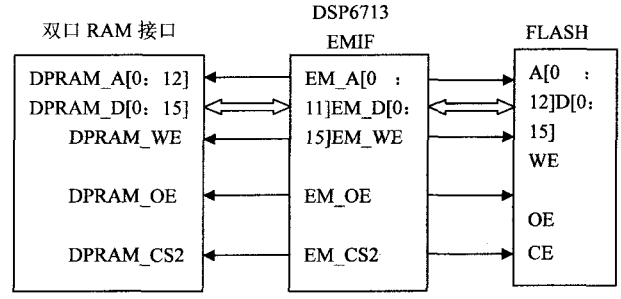

图2　EMIF与外部存储器接口原理图

2 组合导航系统原理

GPS和捷联惯性导航系统SINS都是目前应用最为广泛的导航方法。GPS/SINS组合导航结合了GPS的定位精度高，误差无积累以及SINS高度的自主性、实时性等优点，二者存在着较强的非相似性和互补性，因此GPS/SINS组合可以相互取长补短，充分发挥各自的优势，同时克服了GPS易受地形地物遮挡而导致定位中断和SINS定位误差随时间积累的缺陷。

2.1 GPS/SINS组合及校正方法

GPS/SINS组合有两种模式：松散组合（位置、速度组合），紧密组合（伪距、伪距率组合）。校正方法分为输出校正和反馈校正，原理如图3所示。本设计采用位置、速度组合模式，校正方法选为反馈校正法。

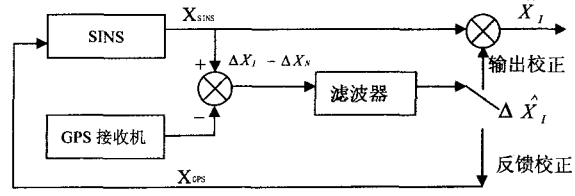

图3　GPS/SINS位置、速度组合原理框图

2.2 系统误差模型

以东北天地理坐标系为导航坐标系，状态变量选为：

$$X=\left[\varphi_e,\varphi_n,\varphi_u,\delta V_e,\delta V_n,\delta V_u,\delta L,\delta\lambda,\delta h,\varepsilon_{bx},\varepsilon_{by},\varepsilon_{bz},\nabla_{ax},\nabla_{ay},\nabla_{az}\right]^T$$

上式中：下标e、n、u分别代表导航坐标系东、北、天三个轴向；x、y、z分别代表载体坐标系右翼、纵轴和竖直向上三个轴向；$\varphi_e,\varphi_n,\varphi_u$ 为平台误差角；$\delta V_e,\delta V_n,\delta V_u$ 为速度误差；$\delta L,\delta\lambda,\delta h$ 为位置误差；$\varepsilon_{bx},\varepsilon_{by},\varepsilon_{bz}$ 为沿载体坐标系的陀螺随机漂移；$\nabla_{ax},\nabla_{ay},\nabla_{az}$ 为加速度计偏差。

1）系统状态方程

（下转第36页）

近年虽有下降，但仍近20%。所以，降低我国社会物流成本，优化交通运输结构，提升运输效率是最重要的。促动交通转变为经济、社会、环境、效益相统一的发展方式已是必然。

2）加快向建设、管理、经营、养护全面协调发展转变

现阶段，发展过程中的必然要求、重要组成是重视交通设施建设。建设是为使用，为使交通基础设施继续良好运行，而非只重视建设，忽视有效衔接经营、管理。经营好交通基础设施，会提高经济效益；管理、养护好交通基础设施会使其使用寿命延长。当前，我国交通基础设施经营模式多样化，管理水平低，管理主体多元，管理职能混淆，关系定位未明，机构设置交叉重复；政企不分，导致政府职责错乱，行业监管失利。经营管理体制问题使交通设施的有效使用受影响，建设负担加重，对交通运输的发展不利。强调建设的同时，明确管理、养护责任，重视建设、管理、经营全过程，推动交通运输的良性发展。

3）加快向综合运输转变

各种运输方式都尤其自身的独特的优势。在大体积物质、集装箱长途运输，尤其是煤炭运输中，铁路运输优势凸显。公路运输一般承担的客货运输分散、批量批次小。中长途和国际客运中，民航运输优势明显。水上运输成本、耗能低、占用土地资源少，尤其是不可替代其在国际货物运输中的作用。交通运输业发展遵循的最基本规律是，全面发挥各运输方式的优势，才能取得各运输方式的最高效率使运输网络的总体效率得以提升，社会物流最低成本得以实现。

加快综合运输体系发展是一项重要战略任务，客观上，我国交通运输业发展正处在综合交通运输体系初级阶段。所以，要抓住机遇，着重促进传统的只重视各交通方式网络规模拓展转变为集成综合交通。持续统筹规划并合理布局，互补优势，顺畅衔接，健全各运输方式基础设施网，使运输结构得以优化，运输装备及管理水平得以提升，加快既与我国经济地理特征相符合，又适应社会经济发展需求的现代综合交通体系的实现。

4）加快数学模型在交通运输管理中的推广

当代的交通运输业主要涉及到交通运输需求、交通运输管理和运输供给三个方面的内容。运输需求和供给是主要的且基础性的方面，下面主要就这两方面来提出有效的数学模型。运输供给和需求彼此之间相互依存，同时受到交通环境的承载力的相关限制。现在我们将交通供给和需求设为影响交通运输的两个状态变量，则城市交通运输系统可以看做是二维的定常非线性的系统，其关系方程为：

$$x'_1=x_1r_1\left(1-\frac{x1}{k1}-K12X2\right) \text{ 和 } x'_2=x_2r_2\left(1-\frac{x2}{k2}-K21X1\right)$$

上式的等式右边的两项是代表城市交通供给与需求的增长模式，具体的各个因式所代表的意义是：x_1指的是城市道路的里程数，代表着交通的供给能力；x_2代表的是城市的车辆，反映了交通的需求能力；x'_1指的是城市道路的里程数的变化率，x'_2指的是城市车辆的变化率，r_1指的是道路的增长率，r_2指的是道路的车辆增量率，k_{12}指的是车辆对道路的利用系数和影响系数，k_{21}指的是道路对车辆出行的影响系数，k_1指的是城市的环境一定时，现有的道路里程与最大能建设的道路长度的比值，即城市的交通承载量率，k_2指的是城市对车辆的最高承载能力。根据模型的实际意义，上述各参数都是大于零的。

5）调整、优化运输结构，推进各种运输方式协调发展

提高交通运输资源配置效率，实现运输结构优化、交通运输发展方式转变的重要保障是统一的交通运输管理体制。加快改革铁路，深化改革水路、公路、民航。重点抓好深化改革，逐步明确各级政府及交通部门的管理职能、责任，逐步建立健全企业运行机制，逐步理清分层管理关系，引导企业遵循市场经济规律及交通运输发展的客观规律从事生产经营，以促进交通运输业的科学、健康发展。

参考文献：

[1]李盛霖，着力转变交通运输业发展方式[J].交通标准化，2010.

[2]文丽，加快推进交通运输发展方式转变--访交通运输部部长李盛霖[J].经济，2010.

[3]李盛霖，转变发展方式加快发展现代交通运输业[J].中国水运（上半月），2010.

[4]何建中，加快转变发展方式实现交通运输科学发展[J].中国水运（上半月），2010.

（上接第64页）

$$\dot{X}(t)=F(t)X(t)+G(t)W(t)$$

$X(t)\in R^{15\times1}$ 为状态变量；$F(t)\in R^{15\times15}$ 为系统转移矩阵；$W(t)\in R^{6\times1}$ 为系统噪声向量；$G(t)\in R^{15\times6}$ 为系统噪声驱动矩阵。

2）位置、速度组合观测方程

将SINS输出的位置和速度信息与GPS的输出信息相减，得到的位置速度之差作为观测量，可得到组合导航系统的观测方程：

$$Z(t)=\begin{bmatrix}V_{IE}-V_{GE}\\V_{IN}-V_{GN}\\V_{IU}-V_{GU}\\L_I-L_G\\\lambda_I-\lambda_G\\h_I-h_G\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}Z_v(t)\\Z_v(t)\end{bmatrix}=H(t)X(t)+v(t)$$

其中：$H(t)=\begin{bmatrix}H_v(t)\\H_v(t)\end{bmatrix}$，$H(t)\in R^{6\times15}$ 为量测矩阵；$v(t)\in R^{6\times1}$ 为量测噪声矢量。

3 实验结果及分析

实验所用的SINS陀螺仪和加速度计为低精度惯性测量单元，陀螺的白噪声为0.6°/s，一阶马尔可夫过程为0.6°/s，相关时间750s，加速度计白噪声15mg；GPS接收机位置误差25m，速度误差0.1m/s，车辆匀速行驶，东、北向速度均为10m/s，初始航向45°。根据GPS/SINS组合导航系统的数学模型，利用Kalman滤波器进行在线滤波和反馈校正。单纯的SINS系统导航速度及位置误差随时间存在严重的发散，无法满足导航定位需求；而由实验可以得出，经过SINS与GPS组合之后，载体速度误差及位置误差估计不再发散，定位精度有了很大提高，速度误差估计小于1m/s，位置误差精度稳定在18m以内，可以满足中低端导航的要求。

4 结语

设计了由高性能数字信号处理器DSP和CPLD组成的组合导航系统，实现了对导航信息的实时采集、导航解算和数据融合，信号采集和数据处理可并行执行。专用浮点DSP芯片大大提高了运算速度，保证了导航系统数据处理的实时性和准确性，利用CPLD编程方便灵活的特点可以很容易的对系统进行再扩展。本设计还具有系统物理结构紧凑、体积小、功耗低等优点，并且具有一定的通用性。

参考文献：

[1]马云峰，MSINS/GPS组合导航系统及其数据融合技术研究，南京：东南大学，2006.

[2]孙华、单志明，基于DSP和FPGA的组合导航系统设计，哈尔滨：哈尔滨工程大学，2009.

[3]尚捷，MIMU及其与GPS组合系统设计与实验研究，北京：清华大学，2005.

[4]陈哲，捷联惯导系统原理，北京：宇航出版社，1986.