

联合直接攻击弹药(JDAM)设计原理分析

蒲阳, 黄长强, 王勇

(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘要:分析了 JDAM 的 GPS/INS 复合导航系统工作原理及制导控制部件(GCU)的控制过程, 得出了 JDAM 的整个工作程序, 为我国现有常规库存炸弹制导化改制提供了理论依据和借鉴经验。

关键词:联合攻击弹药(JDAM); 全球卫星定位系统(GPS); 惯性导航系统(INS)

中图分类号:V246 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2002)06-0018-03

JDAM (Joint Direct Attack Munition) 是“联合攻击弹药”的简称。美国于 1996 年研制成功。“杰达姆”是波音公司出品的低价位攻击系统, 它可将现有的无制导散射炸弹转换为精确制导^[1]的“智慧武器”。只须在美军库存的炸弹上加装一个带有惯性制导系统(INS)和全球定位系统(GPS)的制导装置^[2], 花费较低, 却具有高的精确度, 同时还具备全天候攻击能力。在全球卫星定位系统的帮助下, JDAM 可在离目标 15 英里以外的地区精确击中目标。在 B-1, B-2, B-52, F/A-18 及 F-16 上所作的 245 次以上的制导试验, JDAM 的测试机构取得了成功记录。从 1996 年 10 月起, 95% 的记录 JDAM 的精确度在 9.6 m CEP 超过了精确度在 13 m CEP 的要求。加装毫米波寻的头后, 命中精度可达 3 m。JDAM 的性能在特殊气象条件下如多云、雨天、雪天的测试也取得同样精确记录。

1 GPS/INS 系统的组合原理

1.1 GPS/INS 基本组合方法

组合导航系统^[2]是目前导航系统的发展方向之一。使用者可以根据自己的要求对导航系统进行相应的组合。纯惯导系统的精度再开始工作时或较短时间内很高, 但精度随时间而降低。因此需寻求一种导航系统, 它的误差不随时间而积累(如 GPS 定位系统), 用该系统提供的数据作为外部信息频繁地校正惯导系统。由于惯性敏感元件(陀螺与加速度计)本身存在误差, 使得误差的状态方程一般均为非齐次的。陀螺仪是 INS 的一个主要观测元件, 用它来测量载体的角运动参数, 获得载体坐标系(b)相对于惯性坐标系(i)的旋转角速度 ω_{ib}^b 其误差模型^[3]一般表示为

$$\delta\omega_{ib}^b = d_0 + w_k K_G - D_\tau \Delta\tau - D_h h - w_\beta \beta - \varepsilon_{iw} / t \quad (1)$$

式中: d_0 为常值陀螺漂移; k_G 为刻度因子误差; D_τ 为温度敏感系数; D_h 为磁场敏感系数; h 为磁场矢量; β 为安装角向量(6 个); 最后一项为随机游走项。

加速度计的误差模型为

$$\delta f^b = b_0 + F^b K_a + \text{sgn}(F^b) F^1 \varepsilon_1 + F^2 \varepsilon_2 + F^3 \varepsilon_3 + F_a \alpha + F_c + W_f W + \varepsilon_f \quad (2)$$

式中: b_0 为常值零偏; K_a 为刻度因子误差; ε_1 为非对称刻度因子误差; ε_2 、 ε_3 分别为二次三次非线性刻度因子误差; α 为 6 个安装误差角; W 为角速度敏感系数; ε_f 为噪声; $\text{sgn}()$ 为符号函数(+1, 0, -1)。

一般仅考虑主要误差项: 对于陀螺, 取 d_0 , k_G , ε_{iw} 三项; 加速度计取 b_0 , K_a 。相应的状态方程为

$$x_1 = (\varepsilon_{iw} \quad d_0 \quad k_G \quad b_0 \quad \dot{k}_a)^T \quad (3)$$

收稿日期: 2002-06-18

作者简介: 蒲阳(1973-), 男, 陕西西安人, 硕士生, 主要从事航空军械技术方面的研究;
黄长强(1961-), 男, 江苏如东人, 教授, 主要从事航空军械技术方面的研究。

由式(3)可见,纯惯导系统线性化后的误差方程近似具有无阻尼震荡传播的特点。当存在初始误差和干扰原时,系统将有震荡型的误差传播。如果能设法对这种震荡进行阻尼,无疑会提高系统的性能。可以利用 GPS 导航系统提供的位置计速度数据作为外部阻尼信息,对这种误差进行阻尼。由此构成 GPS/INS 组合导航系统。图 1 是利用 GPS 位置信息阻尼的单

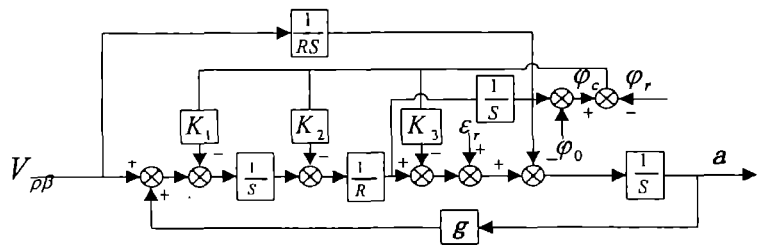


图 1 位置信息阻尼系统组合原理

通道组合系统。图中 ϕ_c 为惯导系统的计算纬度, ϕ_r 为来自 GPS 导航系统的纬度值,二者之差值作为系统的阻尼信息。将此阻尼信息通过 k_1, k_2, k_3 环节加入系统相应环接处,经系统分析计算可以确定 k_1, k_2, k_3 的大小。可以利用系统的误差方框图,进行设计计算系统的校正环节参数。这就是基本的 GPS/INS 组合方法。

1.2 采用卡尔曼滤波器的组合方法

应用卡尔曼滤波^[3]器设计组合系统的原理是:首先建立惯导系统的误差方程(1)为基础的组导航状态方程,并在导航系统误差方程的基础上建立组合系统方程(3)。这两个方程为时变线性方程。采用线性卡尔曼滤波器为惯导系统误差提供最小方差估计,然后利用这些误差的估计值取修正惯导系统,以减少导航误差。另一方面,通过校正后的惯导系统可以提供导航信息,以辅助 GPS 系统提高其性能和可靠性。GPS 与 INS 的组合,可以通过硬件上实现或采用软件组合方式。如果事硬件上一体化组合,那末两个子系统在观测过程中就可以实现互相辅助。在高动态应用环境中,采用 INS 的速度信息辅助 GPS 接收机的码相环路,可以减少其跟踪带宽、增加其抗干扰能力;这种组合方式,有利于减少整个组合系统的体积、重量、电耗等,JDAM 就用的这种组合方式。这种设计方案有一个最大的缺点,即错误的 GPS 信息会引起不正确的平台施矩信号,从而降低导航精度,见图 2。将 INS 的主要部件 IMU(含陀螺、加速度计及必要的辅助电路)与 GPS 接收机的主要部分构成硬件一体化组合系统。将 GPS 观测数据与经过力学编排^[4]得到的 INS 数据进行同步后送往组合 Kalman 滤波器。组合滤波器给出一组状态变量(位置、姿态角、速度、陀螺漂移、加速度计零偏、钟差)的最优估计。将这些误差的估值反馈回 INS,并重新校正 INS(如陀螺漂移、零偏及刻度因子等)。经过组合滤波器校正后,INS 编排模块即使当 GPS 不能正常工作是完全可以精密导航。综上所述,将 INS/GPS 组合成硬件一体化系统,可以提高系统的导航定位性能,尤其适用于 JDAM 高动态应用的环境中。

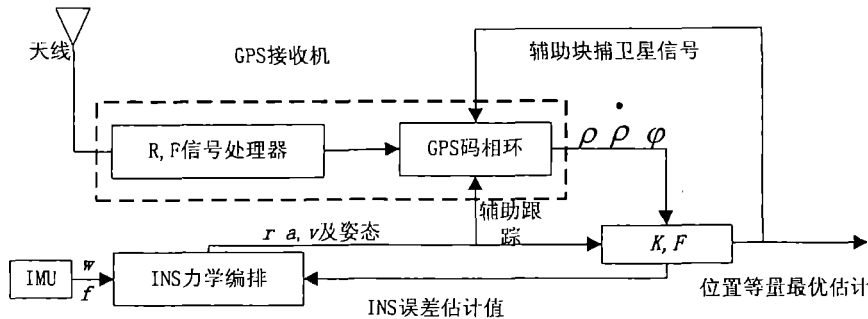


图 2 GPS 与 INS 硬件组合原理

2 JDAM 控制过程分析

GPS/INS 制导控制尾部装置^[4]由制导控制部件(GCU);炸弹尾锥体整流罩;尾部舵机;尾部控制舵面;电缆组件;吊耳;弹体稳定翼片;弹头等构成。

GCU 是 JDAM 制导炸弹的核心部件,包括 GPS 接收机、惯性测量部件(IMU)、任务计算机和电源模块^[1]。各集成电路装在截头圆锥体内,外部装上锥形保护罩,以防止电磁干扰和其他环境因素影响。GPS 接收机采用 2 个天线,分别装在炸弹尾锥体整流罩前端上部(侧向)和尾翼装置后部(后向),以便在炸弹离机后水平飞行段和下落飞行段时截获并持续跟踪飞机上 GPS 接收机所跟踪的 4 颗卫星。IMU 由 2 个速率陀螺和 3 个加速度计以及相应电子线路构成,是一种低成本的捷联式惯性测量装置。在结构上,IMU 与 GPS

接收机采用紧耦合的结合方式,适用于具有较大机动过载和立体弹道的高动态使用环境。任务计算机根据来自 GPS 接收机和惯性测量部件(IMU)的炸弹位置、姿态和速度信息,完成全部制导和控制功能的解算,并输出相应的控制舵面偏转信息,控制炸弹飞向预定攻击的目标。飞机挂载 JDAM 炸弹后,沿预定航线飞行。到达预定航路点时,通过机载 MIL - STD - 1760 军械总线接口和炸弹上的投射电缆,将机载 28 V 直流电加到 JDAM 炸弹上,提供投弹前的空中准备和瞄准计算以及投弹操作所需的电源。接通电源之后,JDAM 炸弹处于预热状态,再次进行自检,然后通过机载悬挂物管理系统,将预先计划的任务数据传输到 JDAM 炸弹尾部制导控制部件的任务计算机中。由于 B - 2A 采用武器舱内挂方式,在投射之前 JDAM 炸弹不可能跟踪卫星,因此必须在装弹时将所需要的几类关键任务数据加载在炸弹上,以保证炸弹从飞机武器舱内投射之后,弹载 GPS 接收机能快速截获由机载 GPS 接收机跟踪的 4 颗卫星。在飞机的飞行中,飞行员还可以根据战场形势变化重新选定攻击目标当飞机飞到预定的投弹准备距离时,机身下的武器舱门打开,投射架处于弹射投放准备状态;当飞机飞到发射位置时,将开始投射 JDAM 炸弹。炸弹与飞机安全分离后,一旦弹载 GPS 接收机截获到机载 GPS 接收机所跟踪的 4 颗选定卫星,炸弹便进入自主攻击预定目标阶段,各自沿预定弹道飞向各自目标或同一目标的不同部位。其控制框图见图 3。

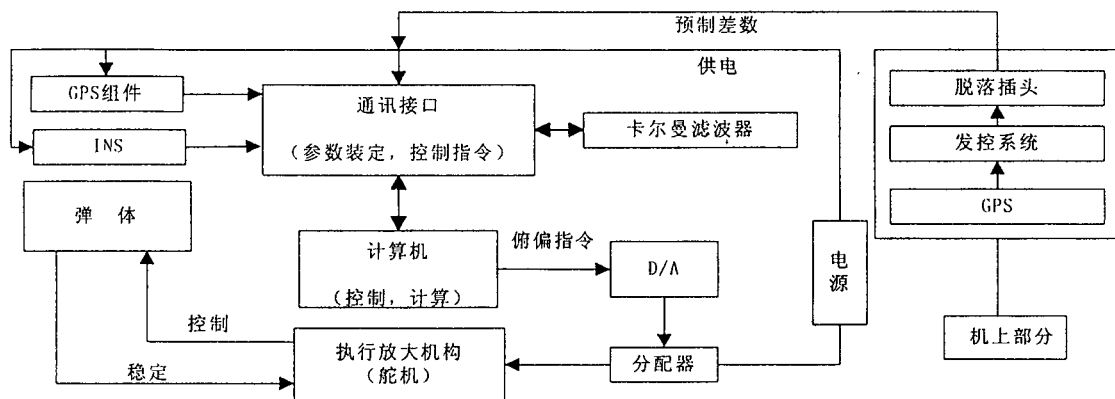


图 3 JDAM 控制框图

3 结束语

通过对 JDAM 导航系统基本组合方式和其工作控制过程的分析得出了 JDAM 的工作原理和控制关系,以及炸弹制导化改装的基本方法和思想,对我国现有常规炸弹制导化改装有着重要的借鉴作用。

参考文献:

- [1] 郭修煌. 精确制导技术[M]. 北京:国防工业出版社,1999.
- [2] 袁建平,方群,郑鄂. GPS 在飞行器定位导航中的应用[M]. 西安:西北工业大学出版社,2000.
- [3] 董绪荣,张守信,华仲春. GPS/INS 组合导航定位及其应用[M]. 长沙:国防科技大学出版社,1988.
- [4] Eissfeller B, Spietz P. Basic Filter Concepts for the Integration of GPS and Inertial Ring Laser Gyro Strapdown System[J]. Manuscripta Geodaetica,1989,14:166 - 182.

(编辑:姚树峰)

Analysis of Design Principle of Joint Direct Attack Munition

PU Yang, HUANG Chang - qiang, WANG Yong

(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China)

Abstract: This paper presents an analysis of the operating principle of GPS/INS building - up navigation system and the control processing of guidance - control unit (GCU), then the whole procedure of JDAM is obtained from the theory. This offers a theoretical basis and reference experience in redoing the conventional stockpile of bombs now available in our country.

Key Words: JDAM; GPS; INS