

基于 DSP 的弹载导引头软件设计与实现

张 飞，徐刚刚，张新潮
(中国空空导弹研究院，河南 洛阳 471009)

摘要：为满足弹载计算机对导引头软件的实时性要求和实现红外导引头的自主寻的跟踪功能，基于主从 DSP 的硬件架构完成了红外导引头软件的设计与实现；其中，ADSP2187N 为从 DSP，负责接收外部输入并形成目标识别所需的各类信号；TMS320C6414 为主 DSP，负责接收 ADSP2187N 发送的信号，并完成目标检测、识别、跟踪等功能；串行加载软件完成导引头软件的自动加载运行及后续升级；半实物仿真试验中，导弹稳定跟踪并命中目标，试验结果表明导引头软件各模块工作正常，满足了系统的功能和性能要求。
关键词：实时性；弹载计算机；导引头软件；数字信号处理器；串行加载

Design and Implementation of Missile—Borne Seeker Software Based on DSP

Zhang Fei, Xu Ganggang, Zhang Xinchao
(China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China)

Abstract: A software based on master—slave DSPs is presented to satisfy the real—time and self—tracking requirements of the seeker. As the slave DSP, ADSP2187N receives external inputs, and forms signal for aim detecting. Based on the signal, the master DSP TMS320C6414 implements aim detecting, identifying and tracking. The serial load program achieves auto—loading of seeker software, and provides way for further software update. In semi—physical simulation, the seeker tracks and hits the target correctly. Results verify the correctness of the software and show the achievements for the requirements of the system.
Keywords: real—time; missile—borne computer; seeker software; DSP; serial load

0 引言

空空导弹是由飞机携带，并从飞机上发射，攻击空中目标的导弹^[1]。21 世纪以来，随着新材料技术、计算机技术和传感器技术的深入应用，作战飞机的各项性能指标都有了很大的提升。这就对以战斗机为作战目标的空空导弹提出了更高的要求，要求导引头软件能够实时地解算出目标的方位信息，并且具备可靠的跟踪和复杂的抗干扰能力。

通常，导引头软件先对接收到的探测信号进行预处理，之后完成信号检测、目标识别、坐标计算等功能。为满足战场环境对信号处理的实时性要求，本文采用双 DSP 的弹载计算机架构设计实现了导引头软件，在基于本帧数据完成寻的功能的同时，能够完成下帧数据的预处理操作，提高了数据处理的并行程度。该弹载计算机的处理器由 TMS320C6414（以下简称 6414，为主 DSP）和 ADSP2187（以下简称 2187，为从 DSP）组成。ADSP2187 是 ADI 公司的数字信号处理器，具备丰富的 I/O 资源和灵活的应用方式^[2-3]，在本文中负责接收导引头的外部输入并形成目标识别所需的各类信号；TMS320C6414 是 TI 公司的高性能处理器，高速的处理能力以及出色的对外接口能力使其非常适合图像处理^[4]，在本文中负责接收 ADSP2187N 的输出信号，并完成目标识别、目标跟踪、抗干扰和对外输出等功能。

1 系统架构

导引头软件安装在弹载计算机的固件中，由两部分组成：

串行加载软件^[5]和信息处理软件。其中，串行加载软件固化于弹载计算机 FLASH 中，实现对信息处理软件目标代码的串行装载功能，主要用于弹体封装之后的导引头软件升级；信息处理软件包括 2187DSP 软件和 6414DSP 软件两部分，分别实现信号预处理功能和导引头寻的功能。系统架构如图 1 所示。

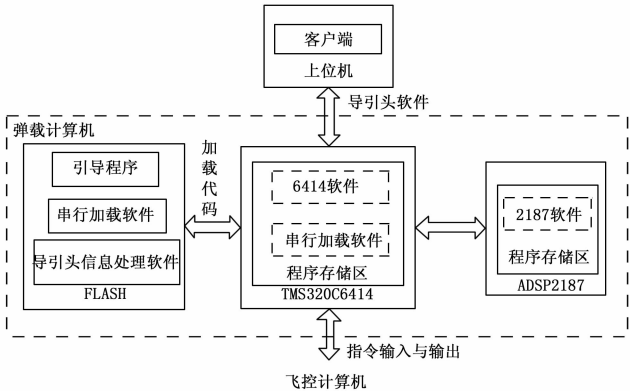


图 1 软硬件系统架构

图 1 中，6414 为主处理机，2187 为从处理机。主处理机通过双口 RAM 接口实现与飞行计算机之间的通讯，从处理机通过 IDMA 接口实现与主处理机的实时通讯。主处理机的 PM 存储区大小为 1 MB，从处理机的 PM 存储区大小为 256 KB，片外 FLASH 的大小为 2 MB。因为 DSP 内部存储器为 RAM 型存储器，系统下电后存储器中的内容消失，所以需要通过与上位机的客户端软件将生成好的串行加载软件和信息处理软件烧写到 FLASH 中（实线框表示），之后通过二次加载的方式将 6414 软件和 2187 软件分别加载到 6414 和 2187 的 PM 存储区

收稿日期:2015-06-25； 修回日期:2015-09-06。

作者简介：张 飞，硕士研究生，工程师，主要从事嵌入式系统设计方向的研究。

中(虚线框表示)。

系统首次使用时需要执行三次上电过程。第一次上电,烧写串行加载软件;第二次上电,利用串行加载软件烧写信息处理软件;第三次上电,信息处理软件自动加载运行。在此后的使用中,信息处理软件上电即可运行。若信息处理软件升级,则仍需要执行上述第二次上电动作。三次上电的细节如下所述:

1) 系统上电,通过仿真工具的 JTAG 接口烧写串行加载软件,系统下电;

2) 系统再次上电,弹载计算机系统将 FLASH 存储器中的串行加载软件自动装载到 6414 DSP 内部 PM 程序存储区中,之后串行加载软件自动运行;

3) 串行加载软件运行过程中,若检测到上位机客户端发送的握手指令,则将客户端发送过来的导引头软件烧写至 FLASH。串行加载软件运行结束,等待系统下电;

4) 串行加载软件运行过程中,若未检测到上位机客户端发送的握手指令,则控制将 FLASH 中的信息处理软件装载到 6414 DSP 内部 PM 程序存储区中,然后 6414 软件运行并将 2187 软件装载到 2187 DSP 内部 PM 程序存储区中。2187 软件和 6414 软件各自独立运行,直至系统下电。

2 软件设计

2.1 串行加载软件

串行加载软件的功能模块如图 2 所示。

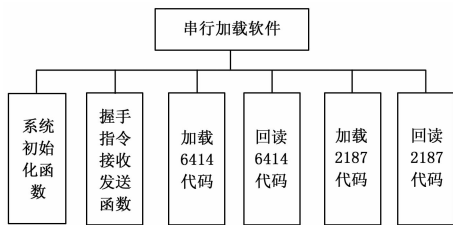


图 2 串行加载软件功能模块图

1) 握手指令接收及发送:接收并判断 McBsp 接口传送过来的数据是否为握手指令,若为握手指令则返回给上位机;

2) 加载 6414 代码:将上位机发送过来的 6414 代码写入 6414 程序存储区;

3) 回读 6414 代码:回读 6414 程序存储区的代码并进行校验;

4) 加载 2187 代码:将上位机发送过来的 2187 代码写入 2187 程序存储区;

5) 回读 2187 代码:回读 2187 程序存储区的代码并进行校验。

2.2 导引头信息处理软件

信息处理软件包括 2187DSP 软件和 6414DSP 软件,2187DSP 软件负责对前端输入信号进行预处理,形成 6414DSP 所需的目标和背景数据;6414DSP 软件负责从探测信号中识别出目标信号并计算出跟踪和制导指令。

信息处理软件的功能模块如图 3 所示。

2.2.1 2187DSP 软件设计

2187DSP 软件完成对外部输入信号的分路转存和信号预处理工作。

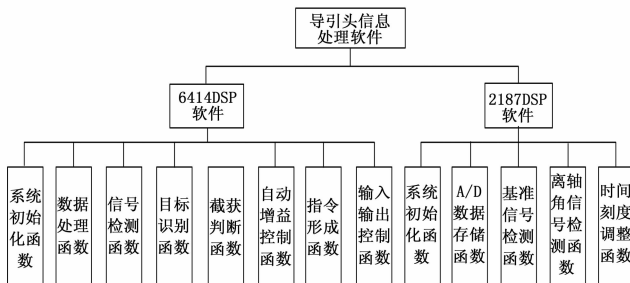


图 3 导引头信息处理软件功能模块图

1) A/D 数据存储:实现基准信号、离轴角信号、红外探测信号采样结果的接收与存储;

2) 基准信号检测:检测基准信号上升沿和下降沿位置,计算基准信号频率;

3) 离轴角信号检测:在一个信息处理周期内检测离轴角信号峰值,以此表征导引头光轴偏离弹轴的角度大小;

4) 时间刻度调整:采用线性插值方法将每个信息处理周期的红外探测信号采样结果的实际采样点数调整为固定点数,即实现将定时采样转换为定点采样。

2.2.2 6414DSP 软件设计

6414DSP 软件接收 2187DSP 传送过来的基准信号、离轴角信号及探测信号,并在此基础上实现导引头的寻的功能。

1) 数据处理:对预处理输出的原始数据进行读取、转存,形成目标检测所需的数据;

2) 目标检测:对处理后的数据进行检测,标记各个信号的相位并计算信号特征;

3) 目标识别:包括背景条件下的目标识别和诱饵干扰条件下的目标识别。将检测得到的信号特征与典型目标特征对比,从中识别出目标;

4) 截获判断:综合目标识别结果和截获判据进行截获判别;

5) 自动增益控制:根据中、短波探测信号的能量大小,实现实时的自动增益控制,使输入的探测信号始终保持线性区内,以利于目标检测;

6) 指令形成:根据当前周期目标识别确定的跟踪对象,计算跟踪指令;

7) 输入输出控制:负责接收离梁、电/解锁指令和对外输出截获指令、跟踪指令、制导指令、弹道封锁指令等。

3 软件实现

串行加载软件和 6414DSP 软件开发环境均为 TMS320C6000 Code Composer Studio 3.1 (CCS V3.1) 集成开发平台,开发语言为 TMS320C6000 汇编及 ANSI C。

2187DSP 软件开发环境为 ADSP-218X EZ-ICE 2.0 集成开发平台,开发语言为 ADSP218x 汇编语言和 ANSI C。

3.1 串行加载实现

串行加载软件的流程图如图 4 所示。

1) 首先进行系统初始化工作,包括对定时器、McBsp 接口、EDMA 通道的初始化工作。

2) 之后,软件进入 5 秒钟等待循环:

(1) 若等待过程中 McBsp 接口有数据传入,则接收数据并存储在命令码存储区,然后跳出循环,执行 3)。

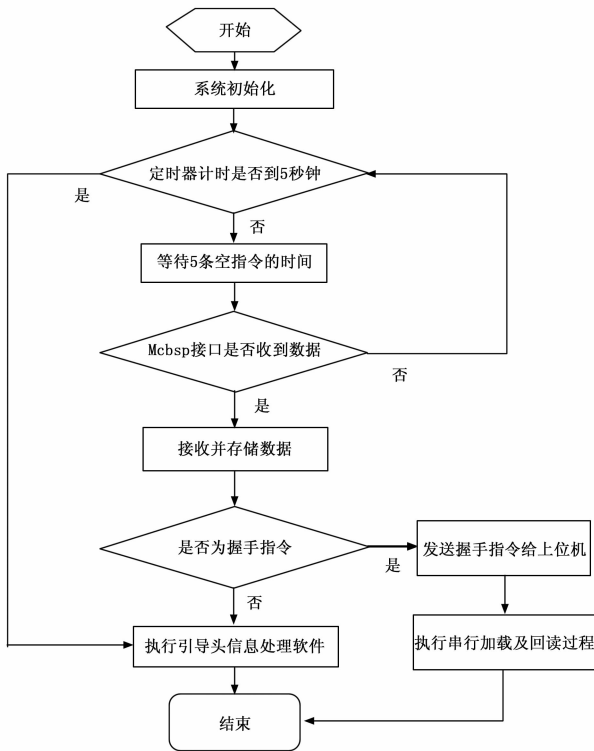


图 4 串行加载软件流程图

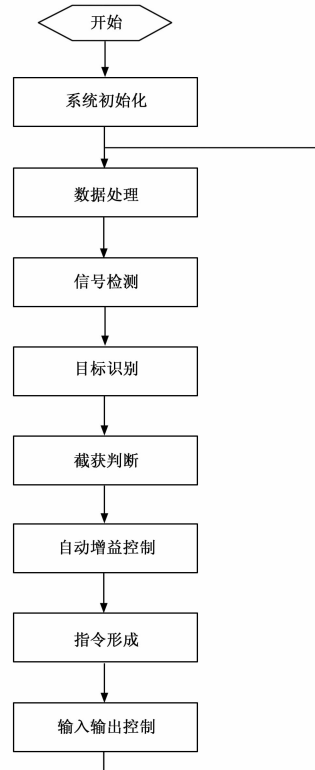


图 5 6414DSP 软件流程图

(2) 若 Mcbsp 接口无数据传入, 则继续等待直到定时器 0 计时 5 秒钟后跳出循环, 并转入执行引导头信息处理软件。

3) 判断命令码是否为执行串行加载的握手指令, 若为握手指令, 则先发送握手指令给上位机, 之后执行串行加载及回读过程; 若命令码不是握手指令, 则转入执行引导头信息处理软件。

3.2 6414DSP 软件

串行加载软件运行过程中, 若在约定的时间内未接收到握手指令, 那么将转入执行 6414DSP 软件。6414DSP 软件的流程图如图 5 所示。

1) 首先进行系统初始化工作, 包括: 加载并运行 2187DSP 软件; 初始设置 6414DSP 底层硬件寄存器和软件变量。

2) 初始化工作完成之后, 2187DSP 软件与 6414DSP 软件并行运行。6414 软件无条件进入信号处理主循环。该主循环主要完成数据处理、信号检测、目标识别、截获判断、自动增益控制、指令形成和输入输出控制。

3) 6414 软件在数据处理模块中完成与 2187 软件的同步, 并接收 2187 预处理的探测信号、基准和离轴角信号。主循环各个模块依次执行的同时, 2187DSP 完成下一帧探测信号的预处理工作, 主循环的最大运行时间要小于 2187DSP 信号预处理的周期时间。

4) 系统上电之后, 6414DSP 软件与 2187DSP 软件始终处于执行状态, 直至导弹命中目标。

3.3 2187DSP 软件

2187DSP 软件由 6414DSP 软件加载并启动运行。软件流程图如图 6 所示。

1) 首先进行系统初始化工作。

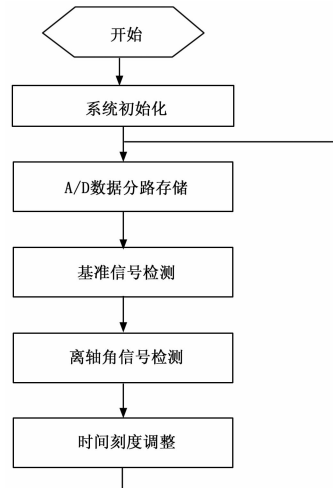


图 6 2187DSP 软件流程图

2) 之后控制实现对基准信号、离轴角信号、探测信号的后台实时 A/D 采样, 并转存采样数据。

3) 进行基准信号检测, 并根据基准信号和离轴角信号数据实时计算出导引头的离轴角幅值和相位信息。

4) 最后对采样得到探测信号完成时间刻度调整, 转换为固定点采样数据。

4 仿真试验

半实物仿真是在进行仿真时引入部分硬件实物进行软硬件结合的仿真, 能够克服纯数字仿真中数学模型不精确的缺点, 更加真实地反映系统的实际情况。半实物仿真具有较高的可信度、安全、高效和可重复的特点, 弥补了数字仿真与外场试验之间的空档^[6]。

为验证导引头软件的功能、性能是否满足系统要求,利用半实物仿真系统开展了仿真试验。该仿真系统由飞行模拟转台、仿真总台、控制舱、海外目标模拟器、仿真计算机、遥测站、供气台等组成,示意图如图 7 所示^[7]。

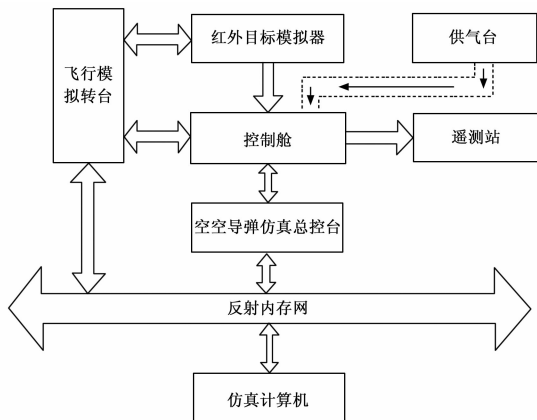


图 7 半实物仿真系统

完成导引头软件烧写之后,导引头与制导组件被封装成控制舱并置于飞行模拟转台,由仿真总台控制各子系统进行特定弹道的仿真试验。图 8 为某条弹道结果中的弹目接近距离。

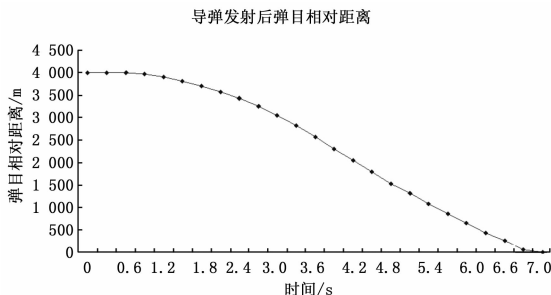


图 8 导弹发射后弹目相对距离

(上接第 148 页)

3.3 结果分析

由图 3 可知,所建立的 BP 神经网络随着训练学习次数的增加,均方误差不断减小,最终趋于平缓,处于一个比较低水平的误差范围内,并在第 80 次学习时达到最佳训练水平水平,均方误差为 $6.797e-8$,整个学习训练时间为 5 秒,达到了很好的训练效果。

表 1 列出了通过训练好的 BP 神经网络对 100 组样本数据进行测试的情况,表中实际值代表网络实际输出值,期望值是选定的样本数据,计算所得均方误差为 0.001 4。可以看出, BP 神经网络基本可以实现对飞机背景磁场的准确预测,能够满足实际作战使用要求。

4 结束语

实时磁补偿功能在反潜巡逻机磁探测潜中具有重要意义,本文提出了基于 BP 神经网络的背景磁场模型求解方法。跳出对背景磁场模型参数进行估计的通常做法,利用飞机的地磁方位角和俯仰角作为输入,通过训练好的神经网络实时输出背景干扰磁场值,再从总磁场测量值中减去干扰磁场值,从而完

以遥测站开始记录的时刻为零点,导弹于 0.8 s 发射,从图中可以看出,发射时弹目距离为 4 km,发射后,弹目相对距离随导弹追击目标递减,7s 时弹目距离为 0.99 m,导弹满足起爆条件,起爆并毁伤目标,该弹道仿真结束。从弹目距离的变化情况可以看出,在导弹发射过程中,导引头稳定识别和跟踪目标直至遇靶,导引头软件工作正常。

5 结论

本文基于 TMS320C6414 和 ADSP2187N 的硬件架构设计实现了弹载导引头软件。通过合理的功能模块划分,既利用了 ADSP2187N 丰富的 I/O 资源,同时又发挥了 TMS320C6414 高性能的图像处理能力,实现了系统上电后导引头的目标识别及自主跟踪功能,提高了系统的实时性。此外,本文设计实现的串行加载软件具备通过串口烧写 DSP 软件的能力,为后续的导引头软件升级提供了方便的途径。通过半实物仿真试验验证了导引头软件设计的合理性和有效性并为后续型号软件的设计提供了可借鉴的经验。

参考文献:

- [1] 郑志伟. 空空导弹系统概论 [M]. 北京: 兵器工业出版社, 1997.
- [2] 陈 勇, 贾明永, 董德新. ADSP2187L 在某光电跟踪装置中的应用 [J]. 航空兵器, 2004 (4): 22-24.
- [3] 李鹏, 黄芝平, 张弈猛. 基于 ADSP-2187L 的高速 Modem 解决方案 [J]. 现代计算机, 2001 (3): 35-37.
- [4] 李方慧, 王 飞, 何佩琨, 等. TMS320C6000 系列 DSP 原理与应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [5] 刘 鹏, 朱沛洪, 陶小亮. 空空导弹数字舵机软件串行加载系统设计 [J]. 航空兵器, 2013 (4): 58-60.
- [6] 朱宇光. 基于 RT-LAB 的导弹雷达导引头半实物仿真系统设计 [J]. 舰船电子工程, 2012 (3): 81-85.
- [7] 陈晓娟. 红外空空导弹抗干扰性能验证方法研究 [J]. 红外技术, 2013, 35 (7): 425-429.

成飞机磁补偿。通过仿真试验,结果表明该方法可操作性及可靠性较高,对提高反潜巡逻机此探测潜效能具有一定的军事意义。

参考文献:

- [1] Tolles W E, Lawson J D. Magnetic compensation of MAD equipped aircraft, Rep 201-1 [R]. New York: Airborne Instruments Lab Inc, 1950.
- [2] 伍东凌, 陈正想, 王 秀. 基于遗传算法的磁干扰补偿方法 [J]. 探测与控制学报, 2012, 34 (6): 16-20.
- [3] 张 坚, 林春生, 罗 青, 等. 基于预测残差平方和的飞机干扰磁场模型求解 [J]. 探测与控制学报, 2010, 32 (5): 74-78.
- [4] 庞学亮, 林春生, 张 宁. 基于改进型偏最小二乘回归法导弹磁补偿研究 [J]. 弹箭与制导学报, 2009, 29 (5): 49-52.
- [5] 阎平凡, 张长水. 人工神经网络与模拟进化计算 (第二版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 1994.
- [6] 韩力群. 人工神经网络教程 [M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2006.