

## 飞机红外图像高速识别系统

马惠敏 苏光大

(清华大学电子工程系,北京,100084)

**摘要** 提出了一种用于导弹的飞机红外图像高速识别系统. 系统基于邻域并行的原理,采用多处理单元并行的处理结构,集图像并行输入、并行处理、并行存储于一体. 对于远距离图像,使用适于帧间处理的邻域图像处理机,实现弹目交会状态和目标识别;对于近距离图像,采用探测元与处理电路一一对应的大规模并行数字电路,实现目标部位识别. 该系统能够满足弹目高速交会时实时识别的要求.

**关键词** 红外成像,邻域处理,特征提取,并行处理,图像识别.

## HIGH SPEED RECOGNITION SYSTEM OF PLANE INFRARED IMAGE

MA Hui-Min SU Guang-Da

(Dept. of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract** A high speed recognition system of plane infrared image used for missile was presented. Base on the neighborhood parallel theory, this system was adopted by parallel processing structure with multi-processor, and combined parallel inputting, parallel processing, parallel storing. The neighborhood image processor was used for the frame processing of the long-distance image, the recognition of the target and the state of the missile-target engagement could be realized. The large scale parallel digital circuit with the one detector to one processor structure was used for the near distance image, the recognition of the part of plane could be realized. This system can meet the need of real time recognition during the high-speed engaging of missile and target.

**Key words** infrared imaging, neighborhood processing, feature extraction, parallel processing, image recognition.

### 引言

在现代战争中,精确打击武器的地位越来越重要,成像制导、成像引信引爆控制是精确打击武器的两个核心技术,由红外探测器和图像信号处理器两个部分组成.

红外成像制导可选择攻击目标,具有全天候作战能力、自动目标识别以及较强的抗干扰能力,能满足实战要求.

20 世纪 90 年代末,美国开始装备红外成像导引头和自动目标识别分类算法. 目前研制的凝视红外成像制导技术,能实时成像,自动进行目标探测、识别、判定,并实施主动控制.

红外成像引信可有效地打击目标的要害部位,目前还处于概念研究阶段. 引信工作在目标近区,交会状态千变万化,图像存在严重变形,给图像识别信号处理系统的研制带来很大的困难.

弹上红外图像实时识别目前主要采取两条途径:一是发展高密度、高速度的大规模集成电路,二是在系统结构上采用并行处理技术,提高系统整体处理能力<sup>[1,2]</sup>.

制导图像要快速读出,在帧周期之内完成快速处理,而引信图像识别要求的速度更快,在几个毫秒到十几毫秒之间必须完成识别. 一种有效的办法是把红外焦平面阵列读出电路和信号处理结合在一起,连接构成智能系统.

本论文针对空空导弹成像制导和成像引信两种应用,设计了一种飞机红外图像高速识别系统,采用并行处理系统结构,使导弹能够有效、实时地识别目标及目标部位.

红外图像实时识别系统采用邻域并行处理机制,其基本原理是数据并行、存储并行、处理并行三者合一<sup>[4]</sup>. 由多个处理单元构成图像输入接收阵列,同时接收图像数据,实现数据并行,通过相邻处理单元之

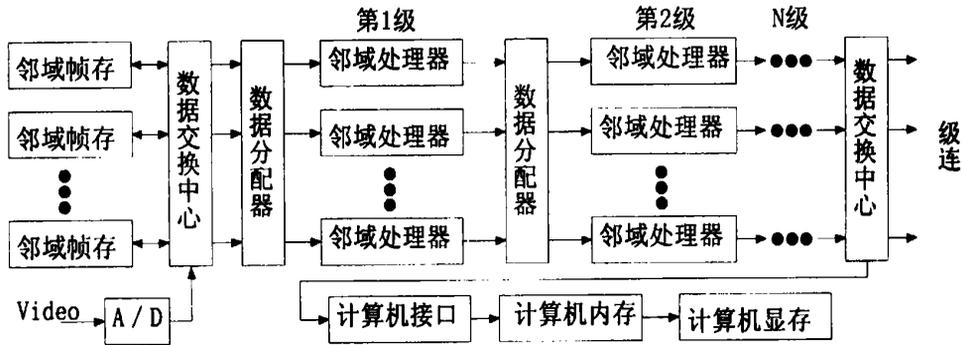


图1 邻域图像并行处理机制  
Fig. 1 Neighborhood image parallel processing architecture

间的连接来实现图像的并行处理和并行存储。

红外成像制导和红外成像引信采用不同的邻域并行系统结构来实现飞机红外图像高速识别,针对成像导引头和成像引信两种应用,邻域图像处理器同时支持随机顺序邻域处理和行邻域处理:(1)随机邻域处理,没有行延迟,没有点延迟,系统可按帧速率进行流水线处理;(2)行顺序邻域处理,没有行延迟,只有点延迟,系统可以按点频进行流水线处理。

### 1 红外成像制导图像识别

红外成像制导主要用于目标类型、目标和背景、目标和诱饵的识别,可利用每帧图像信息和帧间信息,在帧间实现交会状态识别,并识别出目标类型。导引头红外成像帧间间隔一般为 20ms,要求处理速度非常快。

目前,国内外常用的方法是采用高速 DSP 芯片,该方法具有较大的灵活性,并且可以获得较高的处理速度,基本能够满足红外焦平面扫描成像的要求。本论文研究是为了适应红外焦平面成像技术的发展,提高处理速度,提出了一种基于邻域的数字电路并行图像识别系统结构。

本论文采用图 1 所示并行处理机制,设计思想是:由邻域图像帧存直接形成图像邻域数据,邻域处

理器采用可编程逻辑器件实行并行处理邻域数据。

系统设置有两类多级处理:(1)级联型多级处理,一个邻域帧存组和多个邻域处理器阵列为一组,每一级可完成多个算法;(2)级间多级处理,每一个邻域处理器组为一组,每一级只完成一个算法。

根据邻域图像并行处理原理,我们研制成功的可用于红外图像高速识别的邻域图像并行处理机如图 2 所示。

系统可采用双板结构(如图 2 中虚线框所示),插入计算机的 PCI 总线槽上,通过计算机显示结果,也可构成独立于计算机的处理器。G1、G2、G3 为灰度邻域帧存,存储容量分别为  $1024 \times 4096 \times 8$  bit, B1、B2 为二值邻域存储体,存储容量分别为  $2048 \times 2048 \times 1$  bit。

图 2 中的帧存储体实现了数据并行存取,以  $3 \times 3$  邻域的存储结构为例,其存储芯片的组织为

a <sub>00</sub>	a <sub>01</sub>	a <sub>02</sub>	a <sub>00</sub>	a <sub>01</sub>	a <sub>02</sub>
a <sub>10</sub>	a <sub>11</sub>	a <sub>12</sub>	a <sub>10</sub>	a <sub>11</sub>	a <sub>12</sub>
a <sub>20</sub>	a <sub>21</sub>	a <sub>22</sub>	a <sub>20</sub>	a <sub>21</sub>	a <sub>22</sub>
a <sub>00</sub>	a <sub>01</sub>	a <sub>02</sub>	a <sub>00</sub>	a <sub>01</sub>	a <sub>02</sub>
a <sub>10</sub>	a <sub>11</sub>	a <sub>12</sub>	a <sub>10</sub>	a <sub>11</sub>	a <sub>12</sub>
a <sub>20</sub>	a <sub>21</sub>	a <sub>22</sub>	a <sub>20</sub>	a <sub>21</sub>	a <sub>22</sub>

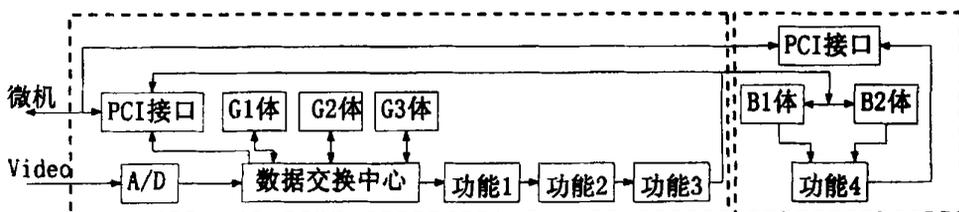


图2 邻域图像并行处理机  
Fig. 2 Neighborhood image parallel processor

矩阵中任意用虚框选择一个  $3 \times 3$  邻域, 都可以得到一组排列成  $3 \times 3$  形式的九个地址、数据独立的存储芯片  $a_{00} \sim a_{22}$ , 图像数据存储在这些芯片内, 可以保证任何  $3 \times 3$  邻域数据都处在不同的存储芯片内, 实现  $3 \times 3$  邻域数据的并行存取. 存储芯片的邻域寻址是通过邻域帧存中的地址变换器, 采用地址标识轮换矩阵来实现的, 详细内容见参考文献[4].

图 2 中每个灰度邻域帧存可提供一帧中相邻 4 行或相邻 3 行的图像数据, 3 个灰度邻域帧存也可以提供 3 帧图像相同地址的 3 组图像数据, 由此可以进行  $3 \times 3$ 、 $2 \times 2$  邻域图像处理, 也可以进行帧间的点处理.

每一帧图像存储在一个邻域帧存中,  $G_1$ 、 $G_2$ 、 $G_3$  帧存之间和  $B_1$ 、 $B_2$  帧存之间, 分别通过数据交换, 既可实现帧内并行处理又可实现帧间并行处理.

- (1) 帧内并行处理: 由数据交换中心取出一个帧存中的一帧图像, 并由邻域处理器组实现帧内运算;
- (2) 帧间并行处理: 由数据交换中心同时取出两个帧存中的两帧图像, 再由邻域处理器组进行帧间运算.

功能 1、功能 2、功能 3 按点频的速率进行流水线处理, 这三级处理器是由在线 EPLD 实现的, 每一级的处理功能都是可变的, 目前设置为图像加减、Sobel、Roberts、十字中值滤波、分割等处理功能. 其中 Sobel 和十字中值滤波, 采用双处理器横向连结的结构, 处理结果可直接通过 PCI 总线送入计算机, 也可以送入  $B_1$ 、 $B_2$  体进行功能 4 所提供的二值

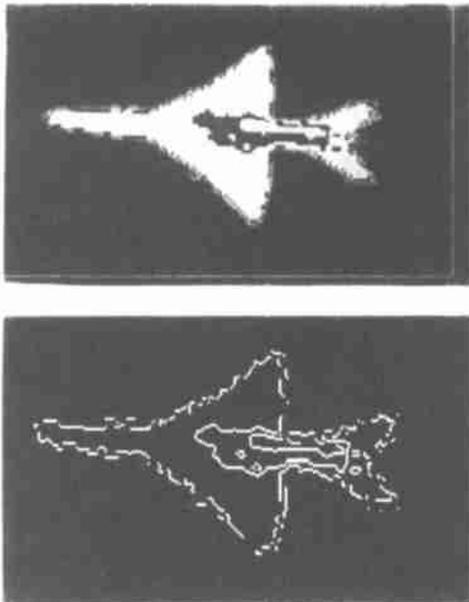


图 3 飞机的红外图像及其 Sobel 滤波结果

Fig. 3 Infrared image of plane and it's Sobel filter result

邻域图像处理. 二值邻域处理包括链码边界跟踪、二值数学形态学处理, 其处理结果可通过 PCI 总线送入计算机. 图 3 为某类型飞机的红外图像及其 Sobel 滤波结果.

邻域图像处理器具有高速进行点处理和邻域处理的能力, 可在 40 ms 内完成 Sobel 算子、分割、链码结构的边界跟踪的系列处理, 等效于 10ms 完成一种处理功能.

## 2 红外成像引信图像识别

### 2.1 成像过程

红外成像引信工作在目标近区, 每次交会, 线阵探测器沿着时间轴扫描获得一幅图像.

在整个交会过程中, 导弹上的质点在  $V$  平面沿某一直线做匀速直线运动, 且导弹上质点的运动平面与目标上质点的运动平面  $U$  相互平行, 各坐标系便是定义在这样一对平行平面的基础上, 如图 4 所示.

图中  $R$  为导弹脱靶量,  $v_m$  为目标速度,  $v_d$  为导弹速度,  $\alpha$  为交会角,  $\beta$  为脱靶方位角,  $\gamma$  为引信视场倾角.

红外探测器把得到的飞机表面的红外辐射转换成电压信号, 通过阈值处理即可形成图像信号. 根据该模型设计的飞机红外图像信号发生器可以模拟成像引信生成任意弹目交会状态下的飞机红外图像.

### 2.2 识别过程

红外成像引信的目的是识别目标易损部位, 达

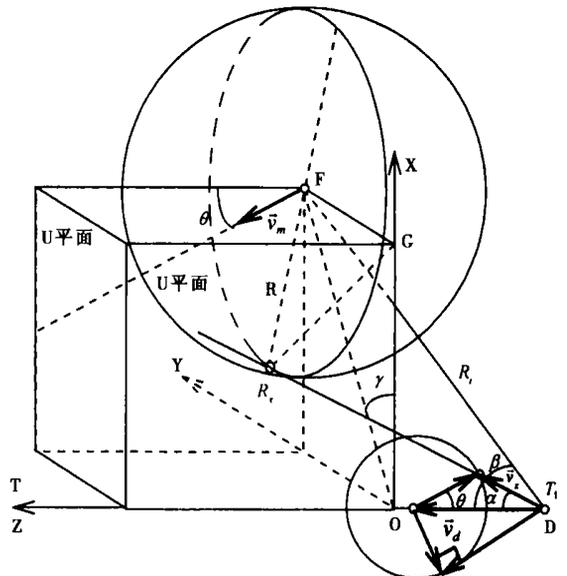


图 4 弹目交会模型图示

Fig. 4 Missile-target engagement model

到最佳毁伤效果. 引信图像识别比制导图像识别难度大得多, 其主要原因是: (1) 每次交会只能得到一幅图像; (2) 交会模式理论上无穷多; (3) 相对运动使图像存在严重变形; (4) 必须在交会瞬间完成识别.

对于这种图像, 有时要求几个毫秒完成识别过程, 常用的高速 DSP 芯片就很难满足高速识别的要求, 因此我们为成像引信专门设计了一套图像识别系统, 如图 5, 该系统基于邻域处理的原理, 采用大规模并行数字电路实现, 整个系统用复杂可编程逻辑器件实现, 具有极高的处理速度, 并能满足小体积的要求.

每路探测器后接一路特征提取电路, 用来提取图像的边缘特征、角特征<sup>[3]</sup>和区域特征. 每路之间存在互联, 模式分类器对提取出的目标图像特征进行分类, 识别目标部位.

图像特征通过触发器存储在每一路处理电路中, 从而实现了数据并行、处理并行、存储并行三位一体的基本思想. 系统设计采用图 5 所示的模块化结构<sup>[5]</sup>.

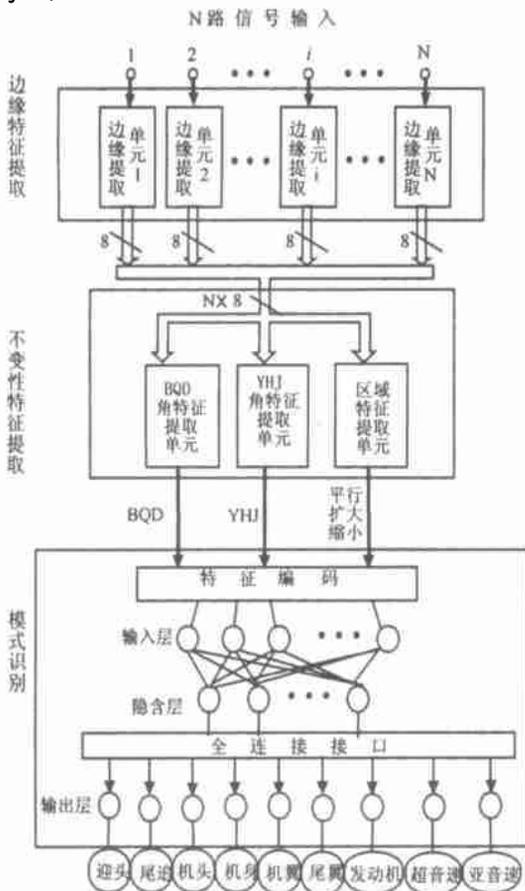


图 5 引信图像识别系统结构图

Fig. 5 Structure of fuse image recognition system

特征提取模块包括边缘特征提取和不变性角特性、组块特征提取 3 个部分: (1) 边缘提取利用  $3 \times 3$  邻域并行和像素比特并行技术, 提取出在  $\{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, -135^\circ, -90^\circ, -45^\circ\}$  8 个方向上, 指向图像外部的边缘特征. (2) 角特征提取利用  $5 \times 5$  邻域并行技术, 提取出由不同类型边界形成的迎角 BQD 和逆角 YHJ. 式(1)中,  $C_i$  为第  $i$  路输出的角特征, 由相邻 5 路的边缘特征  $e$  和它们之间的连接函数  $f$  来决定

$$C_i = f(e_{(i-2),(t-1)}, e_{(i-2),t}, e_{(i-2),(t+1)}, e_{(i-1),(t-1)}, e_{(i-1),t}, e_{(i-1),(t+1)}, e_{i,(t-1)}, e_{i,t}, e_{i,(t+1)}, e_{(i+1),(t-1)}, e_{(i+1),t}, e_{(i+1),(t+1)}, e_{(i+2),(t-1)}, e_{(i+2),t}, e_{(i+2),(t+1)}) \quad (1)$$

(3) 组块特征提取采用时间轴上扫描图像段区域平均技术, 提取出图像段的扩大、平行、缩小的变化趋势, 即

$$F_{Ak}(k) = \sum_{i=1}^m [S_{i+1} - S_i] \quad (2)$$

式(2)中,  $k = 1, 2 \dots N$ . 图像在扫描时间轴上由  $N$  个图像段  $A_k$  构成, 由  $m$  个微元  $S_i$  构成的图像段  $A_k$  的区域特征  $F_{Ak}(k)$  是由相邻微元  $S_i$  的差值之和的平均来决定.

本系统在特征提取中将微观特征与宏观特征结合起来, 即保存了图像中边缘和角的精细特征, 又利用区域平均削弱了识别系统对边缘细节变化的依赖, 得到整体特征, 大大提高了系统的抗扰动能力.

模式识别模块利用特征映射完成规则学习和模式分类, 实现机头、前机身、机翼、发动机、尾翼, 以及迎头和尾追两种交会状态的识别. 利用不同部位之间在连接处形成的夹角作为控制信号, 使识别只与目标图像的结构有关, 而与目标图像的长短(相对速度)无关, 具有放缩不变性.

用弹目交会仿真模型<sup>[6]</sup>生成 50 幅典型状态的

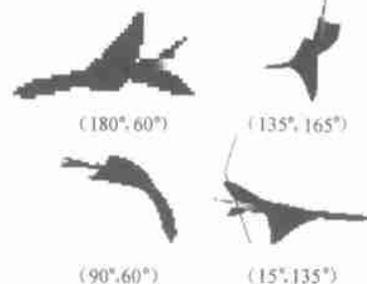


图 6 飞机灰度图像 (交会角, 方位角)

Fig. 6 Gray image of plane (engagement angle, azimuth angle)

飞机红外灰度图像,如图 6 所示,前两幅为迎头交会图像,后两幅为尾追交会图像.用 50 幅典型图像作为测试样本输入引信红外图像识别系统进行识别,识别系统输出的结果如表 1 所示.

### 3 结论

本论文研究证明了邻域图像并行处理能够满足红外成像空空导弹对目标图像实时处理的要求.对于制导图像,可以在帧间完成目标图像识别并给出弹目交会状态;对于引信图像,可以在扫描过程中逐行处理,实现目标部位识别,识别时间在几毫秒到十几毫秒之间.

表 1 引信灰度图像识别结果  
Table 1 Result of fuse image recognition

样本:50 幅红外灰度图像				
识别结果	前机身	机翼	发动机	尾翼
识别数量(个)	46	47	50	50
识别率(%)	92	94	100	100
25 幅迎头交会图像		25 幅尾追交会图像		
识别数量(个)	23	识别数量(个)	25	
识别率(%)	92	识别率(%)	100	
25 幅超音速飞行图像		25 幅亚音速飞行图像		
识别数量(个)	23	识别数量(个)	24	
识别率(%)	92	识别率(%)	96	

红外成像制导目标类型、交会状态识别结果与红外成像引信目标部位识别结果相结合,可以为导弹提供精确的炸点控制.另外,利用可编程逻辑阵列实现系统可灵活改变功能,集成体积小,满足弹上空间结构的要求.

### REFERENCES

- [1] Downton A, Crookes D. Parallel architectures for image processing. *Electronics & Communication Engineering*, 1998, 10(3): 139—151
- [2] Alexander W E, Reeves D S, Goster C S. Parallel image processing with the block data parallel architecture. *Proceedings of the IEEE*, 1996, 84(7): 947—968
- [3] Bimal Kumar Ray, Kumar Sray Ray. Corner detection using iterative gaussian smoothing with constant window size. *Pattern Recognition*, 1995, 28(11): 1765—1781
- [4] SU Guang-Da, ZUO Yong-Rong. Theory and realization of neighbourhood image frame buffer. *Electronic Transaction (苏光大,左永荣.邻域图像帧存的理论及其实现.电子学报)*, 1999, 27(2): 85—88
- [5] MA Hui-Min. The technology and implementation of gray image recognition neural network system. Beijing Institute of Technology Ph.D. Dissertation (马惠敏.神经网络灰度图像识别技术及实现研究.北京理工大学博士学位论文), 2001
- [6] PANG Le-Yi, ZHENGLian, WANG Ke-Yong. Computer simulation of infrared imaging fuse. *Infrared and Laser Engineering (潘乐义,郑链,王克勇.红外成像引信的计算机仿真.红外与激光工程)*, 2000, 29(3): 35—39