

179-184

④

实时红外场景产生器

TN215/4

徐正伟 张向东 吴成柯

(西安电子科技大学信息工程系, 陕西, 西安, 710071)

A 摘要 介绍了一个由两片 Intel i860 处理器构成的实时红外场景产生器, 描述了该系统的硬件系统结构, 叙述了用 i860 实现红外场景图像序列计算的流程图, 以及各主要部分的原理和实现方法, 实验结果表明系统能够满足实际应用的要求。

关键词 仿真器, 红外寻的器, 红外场景产生器, 并行处理。

引言

红外成像制导技术已经成为当前国内外精确制导研究的主要发展方向, 而导引头是精确制导系统的核心设备, 所以对红外成像导引头的信息处理机的性能进行测试和评价是不可少的^[1]。

测试导引头信息处理机最为准确的方法是在实际环境中获取空间运动目标和场景的红外图像信息, 然后进行识别跟踪测试。但这样做必须化费大量的人力和财力, 而且实际环境是不断变化的, 在各种不同的情况都进行试验是不可能的。如果信息处理机的某些性能没有完全达到指标的要求, 有时会造成测试时信息处理机的性能很好, 而真正使用时, 由于所处的环境发生变化, 信息处理机性能不能满足要求。因此使用真实目标和场景进行试验之前, 采用红外目标场景产生器, 提供各种可能而又可快速改变的目标场景的红外模拟图像, 以此来代替真实目标场景的图像, 对导引头的性能进行定量和定性的测试, 不仅可以全面考核信息处理机的各种性能, 还可以为实际的环境测试提供依据。所以红外场景产生器具有实用的价值。

模拟目标的运动和场景的变化需要大量的图形运算, 普通计算机是难以胜任的。必须采用高速并行处理机, 实时地现场产生红外场景图像序列。为了满足这种需要, 我们采用两片 Intel 公司生产的高速 RISC 芯片 i860 构成了一个实时红外场景产生器, 该系统能以 25/s 帧的电视速率, 提供每帧分辨率为 $256 \times 256 \times 8\text{bit}$ 的红外场景实时图像序列。

1 系统的硬件结构

目前已有许多专门的图形处理器, 如 HD63484 和 TMS340 系列, 这些处理器可以加快图形产生的速度, 但本系统的图形运算主要集中在图形变换而不是图形的产生。完成图形的变换需要大量的矩阵乘法(即浮点乘法和加法)和图形消隐计算, 作为通用处理器的 i860, 不仅具有一般处理器的计算和控制功能, 而且有与核心处理单元并行的专用图形处理单元、浮

点乘法器和浮点加法器. 加上专用的流水和非流水乘加指令和 Z-buffer 消隐运算中所需要的 Z 缓冲比较指令, 这些都极大地提高了系统在图形变换中的实时处理能力^[2,3]. 为此, 我们选择了 i860 作为实时红外场景产生器的主处理器.

系统的硬件结构如图 1 所示. 为了方便, 我们采用通用的 486 主机作为开发平台, 用它来完成系统的硬件初始化、i860 处理器程序编译、联接和加载以及程序和数据的外部存储. 两片 i860 实时完成红外场景图像的计算, 如运动目标与假目标顶点的几何变换、消隐、剪裁和表面的红外处理等. 为了简化硬件系统实现的复杂性, 两片 i860 采用完全相同的结构, 其中 i860 处理器 1 和 2 可分别完成奇帧和偶帧的图像序列计算, 两者协同工作, 共同完成红外场景图像序列的实时产生. 每片 i860 处理器各有容量为 2MB 的局部存储器, 安排成 64K × 64bit, 以适应 i860 的 64bits 的数据宽度要求. 局部存储器主要用于存放 i860 的应用程序、真假目标的模型参数和运动参数. i860 根据所提供的目标运动参数, 对目标模型进行几何变换和消隐处理, 并将计算结果存入各自的帧存储器.

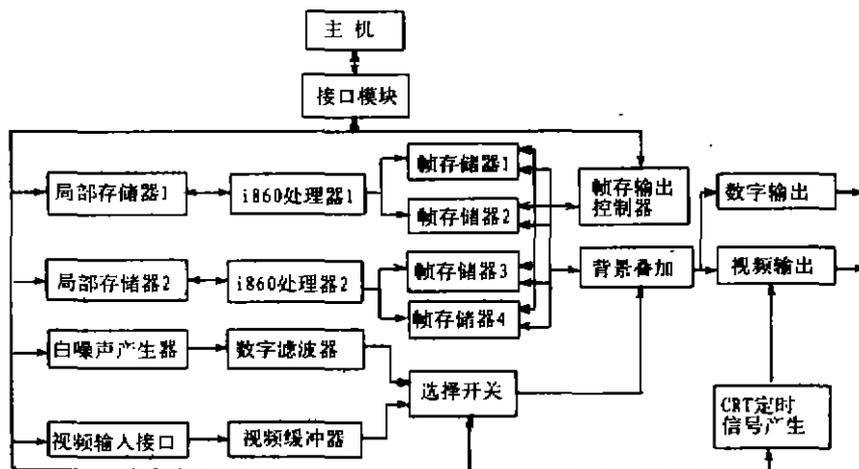


图 1 实时红外场景产生器结构框图

Fig. 1 Hardware architecture block diagram of the real-time infrared scene generator

场景图像是由真假目标及其背景组成的. 背景一般可分为两类: 一类是白噪声或满足某种频谱要求的有色噪声, 另一类是自然景物, 如大海, 天空以及山水. 对第一类背景, 我们用一片 TI 的 DSP 芯片 TMS320C50 来产生, 产生的方法是先产生白噪声信号, 然后让该信号通过某种频谱特性要求的数字滤波器来得到所需要的有色噪声. 而对第二类背景, 用计算的方法产生所需要的自然景物比较困难, 只能把事先已录好的所需要自然景物的图像, 通过视频接口变成数字图像信号, 然后存入视频缓冲存储器. 选择开关用于选择噪声还是自然景物为背景, 把背景信号与 i860 产生的包含有真假目标的图像信号相叠加, 得到满足要求的红外场景图像序列.

所得到的图像信号既可以直接送给导引头的信息处理机, 也可以先转化为标准电视信号以后, 再送给信息处理机.

2 红外图像序列的产生

为了产生红外目标的运动图像序列,必须首先建立目标模型和给出目标运动参数,然后依次计算目标在运动轨迹上的各个位置所得到的红外图像,这些图像构成运动目标的红外图像序列.图2给出了红外图像序列产生的流程图.

进入红外目标场景图像序列产生流程之前,我们必须给出真假目标的三维模型数据.为了在计算机上描述一个三维目标模型,我们用一系列三维空间的小平面来近似目标模型表面形状,每个小平面对应三角形或平面四边形,利用这些小平面的顶点就可以完全表示该三维模型.这个过程是由一个基于微机的模型产生系统软件实现的.我们只要给出目标模型的物理参数,软件系统就会自动生成所需要的目标模型,并以文件的形式保存在外部存储器中.实时产生红外图像序列时,只须把存在外部存储器中模型的“点一面”数据结构分别调入两个 i860 局部存储器的模型数据区.

要将一个空间目标显示在视平面上,必须经过一系列坐标变换^[4].我们首先选择世界坐标系(W系)作为基准坐标系,其它坐标系都相对该坐标系来确定,而且空间目标的运动参数,如视点和视线坐标也是在该坐标系中给出.

为了模型数据产生的方便和空间目标运动姿态控制的灵活性,模型往往是根据局部坐标系(L系)定义的.一般讲,空间目标是由平面、锥形、圆柱形和球形等简单面组成的具有一定对称性的组合体,我们往往将模型的轴与局部坐标系的轴相重合,这既有利于模型数据的产生,又为以后的计算,特别是目标的自旋计算带来方便.每个目标都有一个局部坐标系,这样各个目标都可以独立地在世界坐标系中进行自旋、俯仰、偏航与平移变换.

空间目标的图像是相对于观察坐标系(V系)而言的.观察坐标系的原点即为导引头的视点,其Z轴与导引头视线一致.在观察坐标系中,空间目标上各点的Z坐标值即表明该点离视点的远近.可以根据Z值的大小将其投影到视平面上,并依次作消隐处理.

透视坐标系(P系)是视平面上的平面坐标系.透视坐标系的原点在观察坐标系的Z轴上,两原点相距 f 即为摄像机的焦距,它是已知的,且视平面垂直于观察坐标系的Z轴.

每个目标模型从定义生成到显示要经过三次坐标变换,才能将L系中的坐标值变换到P系中的坐标值.设模型上有L系中的坐标点 $[X]$,而 $[Y]$ 为 $[X]$ 点在P系中的对应点,则其变换过程可以用矩阵表示为:

$$[Y] = [X] \cdot [L] \cdot [W] \cdot [V] \cdot [P] \quad (1)$$

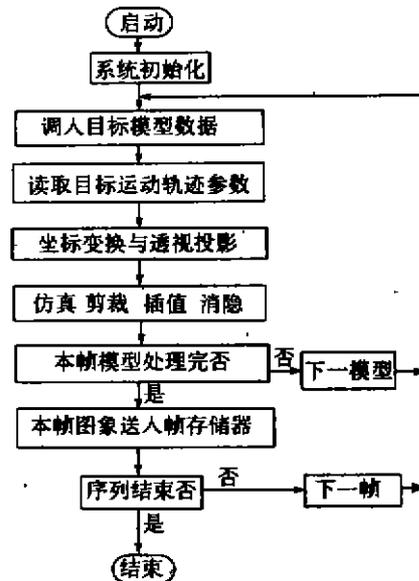


图2 图像序列产生流程图
Fig. 2 Flow chart for generating image sequence

式(1)和 $[L]$ 为 L 系中的变换阵,如旋转矩阵 $[R_L]$ 或平移矩阵 $[T_L]$; $[V]$ 为 W 系到 V 系的变换阵; $[P]$ 为 V 系到 P 系的变换阵; 而 $[W]$ 则为如下组合变换阵:

$$[W] = [R_1] \cdot [R_2] \cdot [R_3] \cdot [T] \quad (2)$$

式(2)中 $[R_1]$ 为模型对 W_y 轴的自旋矩阵, $[R_2]$ 为模型对 W_x 轴俯仰变换矩阵, $[R_3]$ 为模型对 W_z 轴的偏航变换阵, $[T]$ 为模型在 W 系中的平移变换阵.

红外场景产生器是仿真导引头红外探测器所获取的目标与场景的热辐射图像. 为了快速生成红外图像, 应该建立合适的红外辐射计算模型. 假设目标表面的各部分温度为 T , 则在 $3-5\mu\text{m}$ 和 $8-14\mu\text{m}$ 两个波段范围内, 不同温度下红外辐射强度计算公式为^[5,6]

$$H(T) = \epsilon A \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{C_1}{\lambda^5} (e^{C_2/\lambda T} - 1)^{-1} R^{-2} d\lambda, \quad (3)$$

式(3)中 ϵ 为目标表面材料的光谱发射率, A 为目标表面的辐射面积, R 为目标到探测器的距离, $\lambda_1 - \lambda_2$ 为工作波段, 其它为常数.

若 \vec{N} 为目标表面的单位法向量, \vec{L} 为目标表面元素指向红外探测器方向上的单位向量, 则探测器的输出信号为

$$V(T) = R \cdot H(T) \cdot [\vec{N} \cdot \vec{L}] = R \cdot H(T) \cos\theta \quad (4)$$

式(4)中, θ 为 \vec{N} 和 \vec{L} 之间的夹角.

本系统空间目标采用了“点一面”的数据结构, 所以要对物体表面上非顶点处的点进行插值求解, 在这里我们采用线性插值法来填充三角形.

在三维图形计算中, 消隐计算是很费时的, 由于i860具有专门的Z-buffer缓冲器, 以及专门的Z-buffer检查指令, 这样为我们采用“Z向深度缓冲”算法提供了有利的工具, 可以加快三角形填充的速度.

3 系统运行性能

目前, 我们已完成了由两片i860构成的红外场景产生器软件和硬件的研制, 并对系统的各部分的性能进行了全面测试.

在系统的所有性能中, 产生一幅图像所需要的时间是一个很重要的指标, 是系统综合性能的体现, 关系到系统能否满足实时性要求, 它取决于系统的运行速度、算法的有效性以及目标模型的复杂性. 假设某一空间场景包括四个目标, 其中一个是真目标, 另外三个是假目标, 每个目标有300个面组成, 每帧有 $256 \times 256 \times 1/4$ 个像素参加插值和消隐计算, 红外图像序列产生流程图中的各部分运算时间见表1.

从表1见, 我们计算一幅分辨率为 256×256 的红外场景图像, 只需要16.915ms时间. 按照PAL制的电视标准, 每场图像的持续时间应为20ms, 所以在这种目标复杂性下, 系统完全满足实时计算的要求.

图3是一个由8幅图像构成的图像序列, 它是从我们系统生成的一个红外场景图像序列中取出的一小段. 由图3见, 该图像序列同时包含几个运动目标, 它们分别以不同的轨迹作独立运动, 而目标所处的背景是高斯白噪声.

表 1 各步骤运算时间表
Table 1 Time cost table of each calculation step

运算步骤	运算时间(ms)	运算步骤	运算时间(ms)
系统初始化	0.6075	裁剪	5.6250
坐标变换	0.6750	插值和消隐	7.0875
透视变换	0.1875	写帧存储器	1.6200
红外仿真	1.125	共计	16.9150

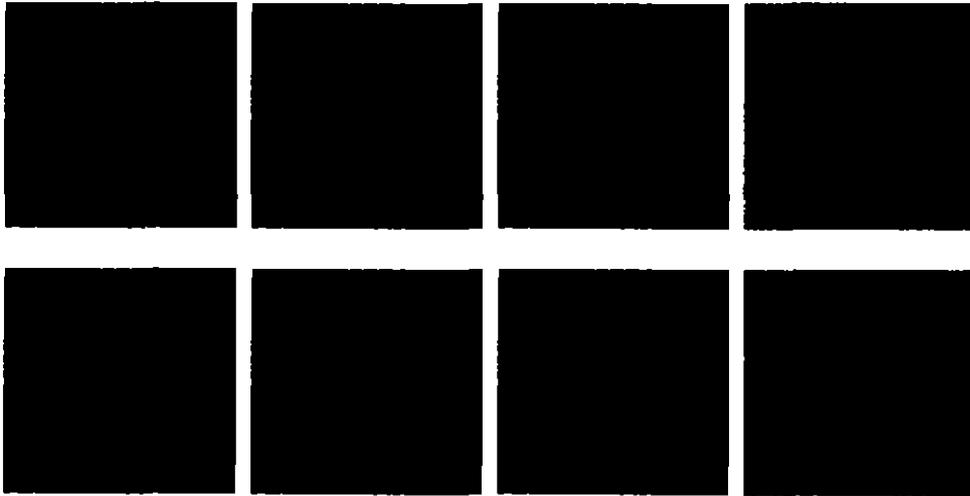


图 3 一个包含 8 幅图像的红外场景图像序列
Fig. 3 An infrared scene image sequence composed of 8 images

致谢 感谢杨宜禾教授、钱鹏老师和肖东波老师以及姜永华、李恩有、屈宜松、刘靖和刘毓等硕士研究生对本工作的支持和帮助。

参考文献

- 1 刘永昌,李保平. 红外技术, 1995, 7(7): 1~4
- 2 i860 64-bit Microprocessor Programmer's Reference Manual, intel Coporation, 1990
- 3 i860 64-bit Microprocessor Hardware Reference Manual, Intel Coporation, 1990
- 4 孙家广,许隆文. 计算机图形学, 北京: 清华大学出版社, 1986, 94~133
- 5 郑卓嘉等. 红外研究, 1989, 8(3): 191~196
- 6 Nandhakumar N, Aggarwal J K. IEEE Trans. on PAMI, 1988, 10(4): 469~481

A REAL-TIME INFRARED SCENE GENERATOR

Xu Zhengwei Zhang Xiangdong Wu Chengke

(Department of Information Engineering, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China)

Abstract A real-time infrared scene generator composed of two Intel i860 processors was introduced. The hardware architecture of the system and the schematic diagram illustrating how to compute the image sequences of infrared scenes based on the hardware system were described. Finally, experimental results indicate that the generator can meet the needs of application in practice.

Key words scene simulator, infrared seeker, infrared scene generator, parallel processing.