

文章编号: 1004-7271(2002)03-0272-05

凝视热成像系统仿真软件

段永红¹, 彭新红²

(1. 上海水产大学计算机学院, 上海 200090; 2. 中科院上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘要 现代高科技的发展离不开系统的理论指导及计算机模拟。通过研究热成像系统原理, 用 VC++ 语言编制了一个热成像系统仿真软件包。该软件包除了可以计算热成像系统包括 MRTD、MTF、NETD、MDTD、视距等的静态性能参数外, 还有一个非常创新的特点: 它允许用户输入原始图像, 在选定的热成像系统的作用下, 用户可以得到被所选定的热成像系统任何模块(如大气、光学系统、探测器、电子学等)处理过的图像, 真实直观地观察各个模块对图像的影响, 这对热成像系统设计指导和分析有着更深的指导意义。

关键词 仿真 热成像 卷积

中图分类号: TN911.73 文献标识码: A

A Simulation software for staring thermal imaging system

DUAN Yong-hong¹, PENG Xing-hong²

(1. Computer College, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China;

2. Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Science, Shanghai 200083, China)

Abstract Systematic theoretical guidance and computer simulation are closely related to the development of modern advanced science and technology. This paper programs a stimulation software package of thermal imaging system with VC++ language by studying the principle of thermal imaging. In addition to the calculation of static performance parameter of thermal imaging including MRTD, MTF, NETD, MDTT and visual distance, the package has a creative feature-it allows the user to input original picture, and the user can obtain the pictures processed by any module of selected thermal imaging with the help of selected thermal imaging, and visually observe the effect of any module on pictures. It has instructive significance in design guidance and analysis of thermal imaging.

Key words stimulation; thermal imaging; convolution

红外凝视成像是第二代热成像系统, 它的主要特点是用红外焦平面面阵探测器代替了单元或线阵的探测器。它的系统在所要求覆盖的范围内, 对目标成像采用红外探测器面阵充满物镜焦平面视场的方法成像, 因此完全摒弃了复杂而笨重的光学机械扫描装置, 从而显著的改善了系统的相应特性, 提高了系统的可靠性。热成像技术是一种高新技术, 是医学、工业及战争中非常有潜力的技术。每一项新技术和新产品都离不开理论的和实际的性能评估。因此建立合理而有效的仿真评估模型是技术开发中的必要环节。本文用 VC++6.0 开发了一个评估凝视热成像系统的软件, 它可以仿真热成像系统的成像过程, 并计算热成像系统的静态性能模型。文章在第一部分介绍用软件实现热成像系统仿真成像的原理, 第二部分重点论述了软件的实现方法, 第三部分介绍软件的结构、界面及使用。

1 热成像系统仿真模型与原理

线性滤波理论是傅立叶变换分析的一个分支,宜用来分析各种线性的、不变的和稳定的系统对信号的响应。它适用于光学仪器、电-光仪器、机械仪器和电子仪器,是象质分析的一个不可缺少的部分,因此成为评价各种热成像系统的重要理论^[1]。

对线性、空间移不变成像系统,假设物空间中的场景用物分布 $f(x, y)$ 来描述。利用狄拉克 δ 函数的“细分性质”,景物分布可以细分成单个光点(δ 函数)的加权叠加和,于是物分布为:

$$f(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x', y') \delta(x - x') \delta(y - y') dx' dy'$$

如果成像系统对物体的作用以算子 $T\{\}$ 表示,那么像空间的象分布 $T\{f(x, y)\}$ 为:

$$g(x, y) = T\{f(x, y)\} = T\left\{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x', y') \delta(x - x') \delta(y - y') dx' dy'\right\}$$

对于线性的成像过程,应该满足叠加原理,则上式变为:

$$g(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x', y') h(x - x', y - y') dx' dy'$$

根据卷积的定义,上式中,象函数正是场景的物空间分布与 $h(x, y)$ 函数的卷积:

$$g(x, y) = f(x, y) * h(x, y)$$

$h(x, y)$ 叫做系统的脉冲响应或点扩展函数(Point Spread Function),它是系统对理想点源 δ 函数的响应。上式表明:对于线性、空间移不变成像系统,输出象函数是系统输入物函数与系统脉冲响应函数的卷积。即:输出图像就是输入图像与系统的脉冲响应函数的卷积。在已知系统成像过程中的每一个组份的脉冲响应函数的情况下,我们就可以得到一个输入图像在被系统的各个组份模糊后的输出图像。

2 软件仿真实实现的方法

根据热成像系统的成像原理,我们设计的软件仿真成像过程的流程见图 1:

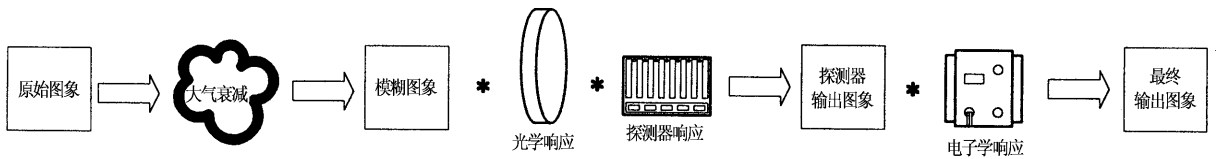


图 1 仿真成像过程的流程图

Fig.1 The flow chart of simulation software

热成像系统各个组份的脉冲响应函数在文献 2 和文献 3 中都有介绍,因此软件仿真的关键,就是如何用软件在程序里实现输入图像与各脉冲响应函数的卷积运算。以下介绍在程序里实现输入图像与脉冲响应卷积运算的方法。

2.1 图像卷积处理

卷积运算是一个相当复杂的运算,为了在程序中实现卷积运算,我们采用卷积核的办法来实现。

图像处理中,对图像像素的处理方式有两种:点处理和区域处理。点处理是一种输出像素值仅取决于输入像素值的图像处理方法,区域处理的输出像素值不仅与输入的像素值有关,而且与输入像素在一定范围内的相邻像素值有关。很显然,卷积运算应该是区域处理的范畴。

区域处理在处理某一个像素时,利用与该像素相邻的一组像素,经过某种变换得到处理后图像中某一点的像素值。目标像素的邻域一般是由像素组成的二维矩阵,目标像素位于该矩阵的中央,即目标像素就是区域的中心像素。经过处理后,目标像素的值为经过特定算法计算后所得的结果。区域中心像素周围的那些像素值在二维方向上提供了图像的亮度变化趋势的信息。

卷积可以简单地看成加权求和的过程。卷积时使用的权可以用一个很小的矩阵来表示,矩阵的大小是奇数,而且是方形矩阵。这种权矩阵叫做卷积核,区域中的每个像素分别与卷积核中的每个元素相乘,所有乘积之和即成为区域中心像素的新值。

卷积核中的各元素叫做卷积系数,卷积核中卷积系数的大小、方向及排列次序决定了卷积的图像处理效果。所有卷积核的行、列都是奇数。

2.2 滤波器的卷积核

由于每一次卷积就相当于一个滤波器,因此卷积核要符合滤波器的特性。热成像系统中所有的响应都相当于一个低通滤波器,因此我们将介绍低通滤波器的卷积核。

低通滤波器的基本思路是保留图像空间频率的低频成分,减少图像的高频成分。低通滤波器的卷积核具有如下特征^[4]:

- ①卷积核的行、列数为奇数,通常为 3;
- ②卷积系数以中心点为中心对称分布;
- ③所有的卷积系数都是正数;
- ④距中心较远的卷积系数的值较小或保持不变。
- ⑤为了不改变图像的亮度,所有卷积系数之和为 1。

2.3 获取卷积核

在确定每个脉冲响应函数的卷积核时,为了不使运算过于繁杂,同时又能保证一定的计算精度,我们取了 5×5 的卷积核。

具体办法是:分别在 x、y 方向上等距地对脉冲响应函数取 5 个点,第一点取在脉冲响应函数的中心位置,即原点,用 $H(0,0)$ 表示,然后分别由该中心位置处向两侧再取 2 个点,每个方向上都得到 5 个点。要求这 5 个点所包围的图像面积是全部脉冲响应函数面积的 90% 以上。对 x 方向和 y 方向上分别离散取值后,就可得到一个 5×5 矩阵。为了不改变图像亮度,各卷积核的各系数和应该为 1,因此还需做一个归一化处理,最终的卷积核矩阵见表 1。

表 1 低通滤波器的卷积核矩阵

Tab.1 The convolution kernel matrix of low-pass filter

$H(2,2)/T$	$H(1,2)/T$	$H(0,2)/T$	$H(1,2)/T$	$H(2,2)/T$
$H(2,1)/T$	$H(1,1)/T$	$H(0,1)/T$	$H(1,1)/T$	$H(2,1)/T$
$H(2,0)/T$	$H(1,0)/T$	$H(0,0)/T$	$H(1,0)/T$	$H(2,0)/T$
$H(2,1)/T$	$H(1,1)/T$	$H(0,1)/T$	$H(1,1)/T$	$H(2,1)/T$
$H(2,2)/T$	$H(1,2)/T$	$H(0,2)/T$	$H(1,2)/T$	$H(2,2)/T$

表 1 中 $H(2,2)$ 表示水平和垂直方向都距离中心点第二个位置处的脉冲响应函数的值, T 是所有 25 个 $H(i,j)$ 的累加, $T = \sum_{i,j} H(i,j)$ 。

2.4 大气影响

大气对图像的影响可以通过乘上一个大气光谱透射率 τ_0 实现,而不像热成像系统其它部分那样需要用卷积运算。

3 软件结构

根据需要,我们设计的软件的主控程序框图如下:

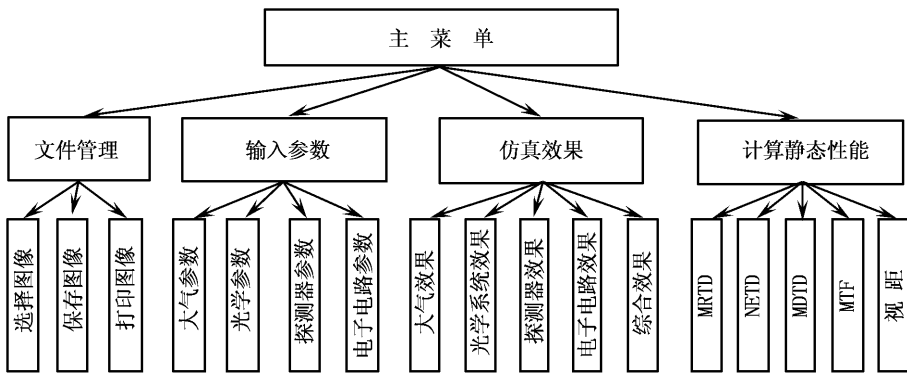


图2 主控程序框图

Fig.2 The architecture of the main programme

主窗口的显示界面如图 3。



图3 主窗口的显示界面

Fig.3 Interface of the main programme

软件共有四个菜单项,完成四大功能。在第一个文件管理菜单项里,主要功能是对文件的管理,它包含有选择源图像、关闭、保存、另存为、打印、打印预览、打印设置、最近文件、退出等命令。其中,选择源图像命令用来选择待处理的原图,选择其它用来保存或打印处理后的图像。

第二个菜单项是待评估系统的基本参数输入模块,根据热成像系统结构,我们将性能计算及仿真所需要的系统参数分成大气参数、光学参数、探测器参数及电子电路参数四类,建立了四个对话框。通过这些对话框,用户可以把计算和图像仿真所需要的参数录入。图 4 和图 5 分别是光学参数和探测器参数的数据输入对话框。

值得一提的是,工程上,计算大气光谱透射率大多采用 Lowtran 法。本软件预留了 Lowtran 法中五种大气模式计算大气光谱透射率的框架,也设置了“自定义气候”命令,该命令允许用户输入任意的大气光谱透射率值。

第三个菜单项是软件要完成的成像仿真模块。菜单项里有五个命令,分别是大气效果、光学效果、探测器效果、电子电路效果和综合效果,执行它们可分别在屏幕上显示出原始图像受大气、光学系统、探测器、电子电路和整个系统影响后的图像。选择“文件管理”菜单项中的保存命令还可以保存其中任何一幅图像,以便在需要的时候打开查看。

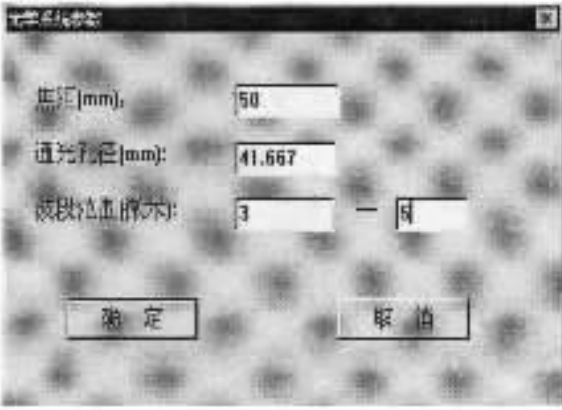


图 4 光学参数的数据输入
Fig.4 Data input of optical parameter

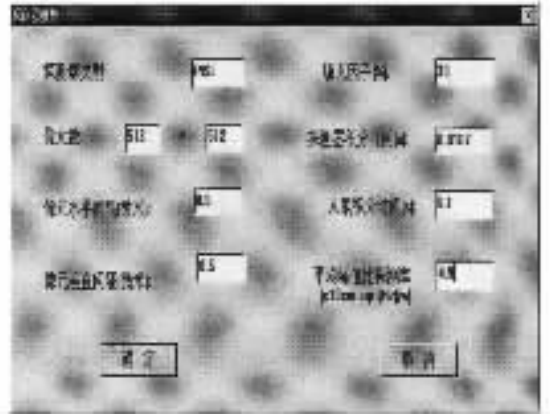


图 5 探测器参数的数据输入
Fig.5 Data input of detector parameter

热成像系统的评估离不开静态性能参数的计算,当前评估红外热成像系统的主要参数有:视距、最小可分辨温差(MRTD)、最小可探测温差(MDT)、噪声等效温差(NETD)和调制传递函数(MTF)。本软件在第四个菜单项里把热成像系统的五个主要静态性能参数的计算放在了这一模块中。在该菜单项里,执行相应的命令,就可以得到各个静态性能参数,其值以图形的形式显示在窗口上,图6是系统调制传递函数计算结果显示窗口。窗口下部的“显示”与“完成”命令用于显示曲线中的任一个频率点的 MTF 计算值。

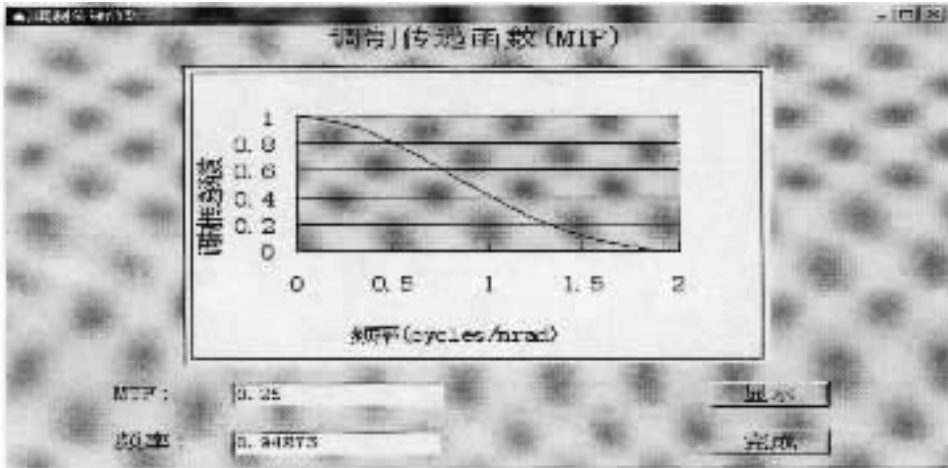


图 6 系统调制传递函数计算结果显示窗口
Fig.6 Window of MTF caculation

4 结论

红外热成像系统的仿真评估软件主要用于评估一个红外热成像系统的优劣。通常的软件包只能计算热成像系统的静态性能参数,而本文介绍的软件包创造性地利用计算机图像处理技术把热成像系统各个组份对图像的影响以图像的形式呈现给用户,使得热成像系统评估工作更为方便、明了。

参考文献:

[1] J M 劳埃德. 热成像系统 [M]. 国防工业出版社, 1981.
 [2] Luke Scott, John D 'Agostino. NVEOD FLIR92 Thermal Imaging Systems Performance Mode [M]. Belling ham WA USA SPIE, 1992, 1689: 194 - 204.
 [3] 彭新红. “红外凝视热成像系统采样效应评估与系统评估仿真研究” [D]. 博士学位论文, 中国科学院上海技术物理研究所, 2002.
 [4] 周长发. 精通 Visual C++ 图像编程 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2000.