

文章编号: 1672-8785(2011)09-0010-05

# 基于神经网络的 MOS 电阻阵列 非均匀性校正

刘 凡 肖树臣 陈秀健 陈 萃

(空军航空大学, 吉林 长春 130022)

**摘 要:** 对 MOS 电阻阵列非均匀性产生的原因进行了深入分析, 并提出了一种可明显提高红外图像生成质量的新的电阻阵列非均匀性校正方法。通过离线测试得到整个电阻阵列的电压-温度数据和待校正单元的电压-温度数据。以这些原始数据作为神经网络的输入, 建立电阻阵列中每个单元的校正前输入和期望输入之间的函数关系, 生成查找表, 从而解决 MOS 电阻阵列由各单元响应率不同而引起的非均匀性问题。仿真结果表明, 该方法具有可行性。与国内外常用的分段线性化方法相比, 其校正效果有了很大的提高。

**关键词:** MOS 电阻阵列; 神经网络; 非均匀性校正

**中图分类号:** TN216 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2011.09.003

## Nonuniformity Correction Technology for MOS Resistor Array Based on Neural Network

LIU Fan, XIAO Shu-chen, CHEN Xiu-jian, CHEN Cui

(Aviation University of Air Force, Changchun 130022, China)

**Abstract:** The causes resulting in the nonuniformity in a MOS resistor array are analyzed and a new nonuniformity correction method which can obviously improve the quality of the generated infrared scene is proposed. When the MOS resistor array is tested offline, the voltage vs temperature data and the voltage vs temperature data to be corrected are measured. Then, by taking these raw data as the input of a neural network, the functional relationship between the pre-correction input and the expected input of each element in the resistor array is established. Finally, a look-up compensation table which can be used to reduce the nonuniformity due to the different responsibility of each element in the MOS resistor array is generated. The simulation result shows that this method is feasible and its correction effectiveness is greatly improved in comparison with the conventional piecewise linearization method.

**Key words:** MOS resistor array; neural network; nonuniformity correction

### 0 引言

在红外成像制导武器系统的研制过程中, 半实物仿真实验是一种非常重要的研究手段,

它贯穿于武器系统研制的整个阶段。红外仿真技术是一项可降低武器系统研制成本, 缩短研制周期和提高效费比的关键技术。利用计算机图形学和 MOS 热电阻产生目标图像的新技术已经

**收稿日期:** 2011-03-19

**作者简介:** 刘凡 (1986-), 男, 陕西渭南人, 硕士研究生, 主要研究方向为制导武器的作战使用与仿真。

E-mail: liufansv@126.com

成为当前及未来图像目标仿真器的发展趋势。这种方法以导弹与目标的姿态和轨迹为基础, 计算目标与背景的形状和温度分布, 特别是目标与导弹之间的大气衰减等, 生成红外数据图像, 然后通过硬件设备驱动 MOS 热电阻阵, 形成实时的动态红外图像。在研制基于 MOS 电阻阵列的红外目标模拟器的过程中, 为了使红外导引头获得逼真的红外目标特性, 在用计算机生成的图像数据驱动电阻阵列时, 必须考虑电阻阵列本身的非均匀性对实际输出的红外热图像的影响。因此, 对电阻阵列进行非均匀性校正是必不可少的<sup>[1-3]</sup>。本文通过分析 MOS 电阻阵列非均匀性的产生原因及特点, 采用神经网络建立电阻阵列中每个单元校正前输入和期望输入之间的函数关系, 生成查找表, 从而完成电阻阵列的非均匀性校正。通过大量仿真实验给出了仿真数据和结果。

## 1 电阻阵列的结构

本系统采用的电阻阵列转换器由  $128 \times 128$  个基本单元组成。其中, 每个单元除了热敏电阻  $R$  之外, 还包括两个 MOS 晶体管。图 1 所示为电阻基本单元的原理图。传输门  $T_1$  被选通打开后, 驱动模拟电压  $V_s$  经过  $T_1$ , 并被  $T_2$  放大以给热敏电阻提供足够大的加热电流。当传输门  $T_1$  关闭后, 电容  $C$  上存储的电荷通过  $T_2$  缓慢进行放电。在放电时间内,  $T_2$  依然可以给电阻加热。

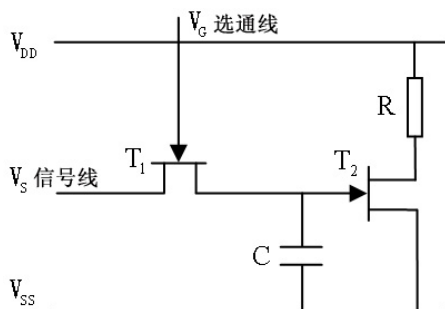


图 1 电阻阵列基本单元的原理图

## 2 非均匀性校正

在理想情况下, 当给电阻阵列上的每个单元施加相同的驱动电压时, 每个单元的红外辐

射响应应该是相同的。但实际上, 在驱动电压相同的情况下, 由于每个单元输出的红外辐射响应不同, 会导致电阻阵列的输出不均匀。非均匀性校正是指在各单元的输入模拟电压相同的前提下, 对输入电压进行校正, 使各个单元的输出响应一致。这个输出响应可以是此时响应的平均值, 也可以是此条件下的最大值等。其中, 一般采用平均值。国内外常用的校正法包括稀疏网格法和 Flood 校正法。

### 2.1 稀疏网格法

稀疏网格非均匀性校正过程包括电阻阵列传输特性的线性化处理和电阻阵列非均匀性的分段线性化校正两部分。通过对 MOS 电阻阵列中每个像元的输入数据进行校正, 可以使每个像元的输入输出特性保持近似的线性关系。这样, 通过线性化处理, 在非均匀性校正过程中由分段线性化引入的方法误差就可被减至最小。另外, 较高的线性化可以有效降低电阻阵列非均匀性校正的后续数据测量工作量。

电阻阵列传输特性的线性化处理过程如下: 首先采集电阻阵列的输入输出数据, 然后通过曲线拟合得到 MOS 电阻阵列的传输特性曲线, 最后对该曲线求反函数曲线, 得到线性化转换特性曲线。经线性化后的电阻阵列响应为一簇近似直线的曲线, 每条曲线对应一个像元。这些不同的曲线反映出电阻阵列的非均匀性。电阻阵列非均匀性校正的主要工作就是将这一簇曲线修正为一个相同的线性参考响应。

从上述过程中可以看出, 稀疏网格校正法的算法简单, 但精度较低, 使其应用受到了限制。

### 2.2 Flood 校正法

Flood 校正法也叫做大面积法。它与稀疏网格法的最大区别是, 在对非均匀信息进行采集和处理的过程中, 其投影仪阵列是被作为一个整体来采集非均匀性信息的。对辐射阵列进行 Flood 非均匀性校正, 需要精确测试投影仪与热像仪 (非均匀性校正图像仪) 像元之间的映射比。当投影仪未对准热像仪的像元时, 错误的信息将会被反馈到非均匀性校正过程。目前用于校准映射比的方法主要有角像元法、框架法、网格法以

及纹波干扰边缘图形法。但是这些方法对实验室的要求较高,其后期的数据处理过程复杂。

### 3 改进的非均匀性校正方法

为了满足国内实验室的测量条件,本文采用改进的稀疏网格法<sup>[5]</sup>来采集电阻阵列的非均匀性信息。首先对电阻阵列进行网格划分,然后进行数据测量。在测量电阻单元的输出响应时,对每个网格进行整体测量。假定在输入电压相同时,同一个网格内的所有电阻单元的输出响应也相同,即认为同一网格内的电阻单元具有相同的输出响应曲线。

通过测量电阻阵列的输出响应数据,可以得到电阻阵列的非均匀性信息。然后需要对这些数据进行处理,从而得到用于系统实时性校正的查找表。目前,国内外最常用的数据处理方法是分段线性化校正算法。该算法简单,易于实现,但在分段线性化时会引入误差,因此其校正效果还有待提高。本文以测得的输入电压和输出响应数据作为神经网络的输入,建立电阻阵列中每个单元的校正前输入和期望输入之间的函数关系,然后生成查找表并将其存储在计算机里。对电阻阵列的测量、数据处理以及查找表生成等工作都是“线下”完成的。最后根据图像灰度所对应的输入,结合查找表中的函数关系,实时产生校正后与各个电阻元相对应的驱动数据,从而完成对 MOS 电阻阵列的非均匀性校正。

当输入电压为  $V$  时,整个电阻阵列的平均响应和需要校正的网格电阻阵列的平均响应分别为

$$\bar{T}(V) = \frac{1}{128 \times 128} \sum_{i=1}^{128} \sum_{j=1}^{128} T_{ij}(V) \quad (1)$$

$$F(V) = \frac{1}{n \times n} \sum_{i=p}^{p+n} \sum_{j=q}^{q+n} F_{pq}(V) \quad (2)$$

式中,  $n$  为网格的大小,  $p$  和  $q$  为网格左上方电阻的序号。因为存在非均匀性,所以  $\bar{T}(V)$  和  $F(V)$  在相同输入电压下的输出是不同的。因此,我们可以令  $F(V) = \bar{T}(u)$ , 得出  $V = h(u)$  的函数表达

式。这样在数据处理中就可以避免引入由分段线性化带来的方法误差,从而提高校正效果,降低电阻阵列的非均匀性。在用由计算机生成的图像数据驱动电阻阵列时,图像数据和驱动电压之间有着一定的对应关系,即图像数据和平均响应  $\bar{T}(u)$  的出入电压有关。根据函数  $V = h(u)$ , 当将一定的图像数据对应的  $u$  作为电阻阵列的输入时,经过校正后实质上输入给需要校正的电阻单元的是  $V$ , 这样便达到了非均匀性校正的目的。由 MOS 电阻阵列像元的结构可知,响应存在一定程度的非线性,近似为一个四次关系(像元的控制 NMOS 管在恒流区的控制电压和输出电流之间近似一个二次关系,而 NMOS 管提供的输出电流和电阻丝的辐射温度又成一个近似二次关系)。若要得出  $V = h(u)$  的函数关系,我们可以利用神经网络来实现。

#### 3.1 BP 神经网络

BP 神经网络的工作原理是,将输入信号(学习样本)从输入层经隐含层传向输出层,并在输出层产生输出信号。在此过程中,网络的权值固定不变。将网络的实际输出信号与期望输出之间的差值(即误差信号)与预先设定的误差范围进行比较。若误差在范围之内,则进行下一个样本的学习;否则就将误差信号从输出层开始逐层向前传播,并且用误差反馈对网络的权值进行调节(通过权值的不断修正使网络的实际输出更接近期望输出)。当所有样本学习完成和网络的权值固定后,神经网络便可以使用了。

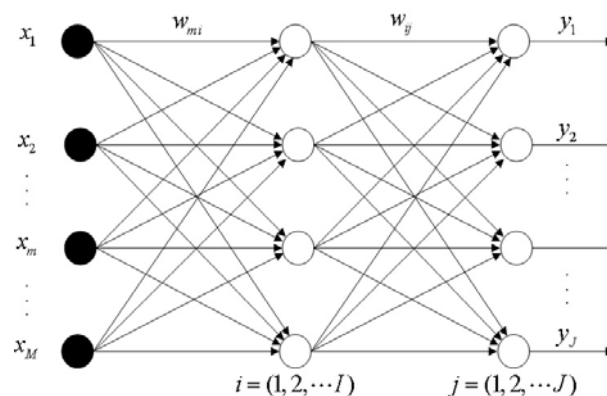


图 2 含有一个隐含层的神经网络

本文仿真所用的神经网络为单隐含层网络。下面以单隐含层 BP 网络为例, 给出 BP 算法公式 (所有公式参见文献 [6])。

设输入层为  $M$ , 即有  $M$  个输入信号, 其中任一输入信号用  $m$  表示; 隐含层为  $I$ , 即有  $I$  个神经元, 其中任一神经元用  $i$  表示; 输出层为  $J$ , 即有  $J$  个输出神经元, 其中任一神经元用  $j$  表示。输入层与隐含层的突触权值用  $w_{mi}$  表示, 隐含层与输出层的突触权值用  $w_{ij}$  表示。神经元的输入用  $u$  表示, 激励输出用  $v$  表示。 $u$ 、 $v$  的上标表示层, 下标表示层中的某个神经元。所有神经元的激励函数  $f$  均为 Sigmoid 函数。设训练样本集为  $X = [X_1, X_2, \dots, X_K, \dots, X_N]$ , 对应任一训练样本  $X_K = [X_{K1}, X_{K2}, \dots, X_{KM}]^T$  ( $K = 1, 2, \dots, N$ ) 的实际输出为  $Y_K = [y_{K1}, y_{K2}, \dots, y_{KJ}]^T$ , 期望输出为  $D_K = [d_{K1}, d_{K2}, \dots, d_{KJ}]^T$ , 误差信号为  $E_K = [e_{K1}, e_{K2}, \dots, e_{KJ}]^T$ , 输入层与隐含层的权值修正量为  $\Delta w_{mi}$ , 隐含层与输出层的权值修正量为  $\Delta w_{ij}$ 。设  $n$  为迭代次数,  $\eta$  为学习速率,  $\alpha$  为动量项, 权值和实际输出是  $n$  的函数。激励函数  $f$  为

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)}, \quad -\infty < x < +\infty \quad (3)$$

当输入信号正向传播时, 可以得到

$$u_i^I = \sum_{m=1}^M w_{mi} x_{Km}, \quad v_i^I = f\left(\sum_{m=1}^M w_{mi} x_{Km}\right), \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (4)$$

$$u_j^J = \sum_{i=1}^I w_{ij} v_i^I, \quad y_{Kj} = v_j^J = f\left(\sum_{i=1}^I w_{ij} v_i^I\right), \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (5)$$

$$e_{Kj}(n) = d_{Kj}(n) - y_{Kj}(n) \quad (6)$$

当误差信号反向传播时, 各个权值的修正值为

$$\Delta w_{ij}(n) = \eta f' \left[ u_j^J(n) \right] e_{Kj}(n) v_i^I(n) + \alpha \Delta w_{ij}(n-1) \quad (7)$$

$$\Delta w_{mi}(n) = \eta f' \left[ u_i^I(n) \right]$$

$$\times \sum_{j=1}^J \left[ f' \left( u_j^J(n) \right) e_{Kj}(n) w_{ij}(n) \right] x_{Km}(n) + \alpha \Delta w_{mi}(n-1) \quad (8)$$

### 3.2 神经网络设置

按照改进的稀疏网格法 [5] 将整个电阻阵列划分为 256 个  $8 \times 8$  大小的网格单元。每个网格单元使用一个单隐含层 BP 神经网络建立校正前输入和期望输入电压之间的函数关系。各网络的设置如下: 输入层的节点数为 2 个, 分别为整个电阻阵列的输入电压和输出响应、需要校正的网格电阻阵列的输入电压和输出响应; 隐含层的节点数为 6; 输出层的节点数为 1 个, 即需校正网格电阻阵列校正前输入和期望输入电压之间的函数关系。设学习速率  $\eta$  为 0.1, 误差范围为 0.001, 激励函数为 Sigmoid 函数。

### 3.3 仿真实验

用 Matlab 对电阻阵列进行数字仿真。图 3 为用 Matlab 生成的未经校正的非均匀性为 10% 的  $128 \times 128$  电阻阵列图像。该电阻阵列像元的辐射能力与其到阵列中心的距离成反比, 即电阻阵列中心的辐射能力比边缘的强。图 4 为采用本文方法校正后的电阻阵列图像。图 5 所示为经仿真得出的需校正网格电阻阵列的校正前输入和期望输入电压之间的曲线关系。从仿真结果中可以看出, 非均匀校正的效果很明显。通过计算可知, 校正后的电阻阵列的非均匀性约为 0.54%。

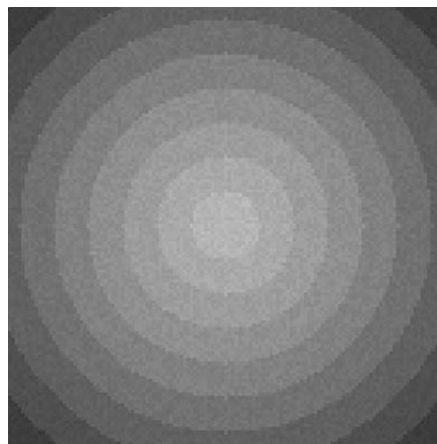


图 3 未经校正的  $128 \times 128$  电阻阵列图像

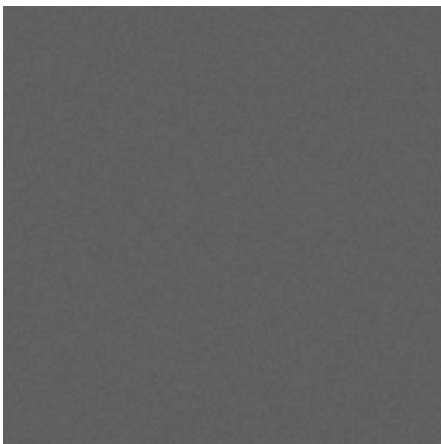


图 4 校正后的 128×128 电阻阵列图像

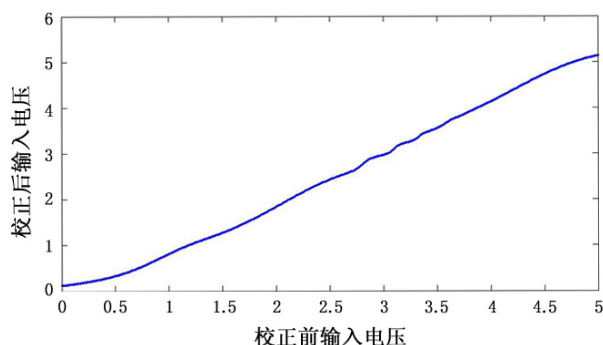


图 5 校正前输入和期望输入电压的曲线关系

## 4 结果与分析

校正后的电阻阵列仍然会存在一定的非均

匀性,这主要是在采用改进的稀疏网格法进行数据测量时,同一网格单元内的电阻被认为具有相同的非均匀性所造成的。与分段线性化校正法相比,本文方法的校正效果有了很大提高,对红外目标模拟器和红外成像制导仿真具有一定的帮助。离线校正和在线查表的校正方法可以充分利用计算机的强大计算能力,但不会影响红外景像生成系统的实时性。

## 参考文献

- [1] Robert G S, George C G. Characterization and Nonuniformity Correction of A Resistor Array Infrared Scene Projector [C]. *SPIE*, 1994, **2223**: 51-62.
- [2] Lawrence E J, Robert G S. Characterization Measurements of The Wideband Infrared Scene Projector Resistor Array [C]. *SPIE*, 1997, **3084**: 31-47.
- [3] Anne M C, Robert G S. Wideband Infrared Scene Projector(WISP) [C]. *SPIE*, 1995, **2474**: 132-138.
- [4] 张凯, 黄勇, 孙力, 等. MOS 电阻阵的非均匀性测量及补偿方法研究 [J]. *西北工业大学学报*, 2007, **25**(1): 108-111.
- [5] 朱岩, 王仕成, 苏德伦, 等. MOS 电阻阵列非均匀性校正技术研究 [J]. *红外技术*, 2009, **31**(3): 148-151.
- [6] 高隼. *人工神经网络原理及仿真实例* [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.

## 新闻动态 News

### 法国演示采用集成鱼眼光学部件的红外探测器

据 [www.ic-marketplace.com](http://www.ic-marketplace.com) 网站报道,在今年 4 月 26 ~ 28 日于美国奥兰多举办的 SPIE 2011 防御、安全和传感展览会上,法国 Sofradir 公司和 Onera 实验室联合演示了一种采用集成鱼眼光学部件的新型红外探测器。

这种新型鱼眼红外探测器是 Sofradir 公司和 Onera 实验室联合研制的。在 2010 年举办的 SPIE 展览会上,他们曾经演示过一个采用集成光学部件、电视格式、像元间距为 15  $\mu\text{m}$  的 640×512 元原型探测器。

现在,由于采用了内置的 360° 成像技术,这种新型红外探测器可以帮助导弹告警系统制造商减小相关光学传感器的尺寸并可以使得它们变得更坚固。而在以前,导弹告警系统只能是通过使用独立的光学元部件来提供 360° 成像的。

将 360° 成像透镜直接集成到红外探测器中的好处是可以减少光学元部件数量、提高相机的光学透过率,这样便可以使相机的灵敏度得到提高。还有,将成像透镜嵌入冷却室可以最大限度地减少杂散光,使热响应和背景电流变得更加稳定,因此无需再进行非均匀性校正。为了提高导弹告警系统的整体图像质量,法国 Sofradir 公司和 Onera 实验室已经克服了多个障碍。

□ 高国龙