

# 数字图像相关的计算机仿真及实施方面的某些考虑

李 桂 菊

**摘要:** 本文综合评述了目前常用的数字图像相关算法, 在IBM PC/AT 上对这些算法进行了仿真。提出了一种基于积相关及绝对差算法的混合算法。并指出将图像像素的灰级值减去其平均灰级值可以改进归一化积相关算法的性能。为检验算法的抗干扰能力, 在试验图像上叠加了零均值的伪随机噪声。提出了实施这些算法方面的一些考虑。

## 一、引 言

数字图像相关是数字图像处理技术的一项重要应用, 被广泛用于自动目标跟踪、末制导等方面。数字图像相关的方法很多, 常用的有绝对差(MAD), 平方差(MSD), 积相关(PROD)等方法。为加快运算速度, 提高相关精度和抗干扰能力, 不少作者提出了对上述基本算法的改进措施和新的算法<sup>[1-3]</sup>, 本文对几种常见的相关算法进行了微计算机仿真, 比较了不同算法对 8 幅含有飞行目标的实际图像的相关处理结果。为评价各种方法的抗干扰能力, 将零均值的伪随机噪声叠加到图像上, 计算出了不同图像信噪比时相关平面的SNR。基于上述仿真结果, 对各种数字图像相关方法进行了比较, 并从计算量与计算速度方面做了一些付诸实施的初步考虑。

## 二、各种数字图像相关算法的评述

数字图像相关算法, 是将含有待跟踪目标的图像参考窗在作为实际图像的搜索区域跟踪窗内移动, 计算参考窗与其所在跟踪窗内的子图像之间的相似性, 具有最大相似性的位置就是最可能匹配的位置。

图 1 中, 象元数为  $N \times N$  的图像平面为 IMG, 定义为跟踪窗, 象元数为  $M \times M$  的 RI 图像平面定义为参考窗, 常用的计算 RI 与 IMG 之间的相似性的相关算法, 即在左上角像素为 IO, JO 点处, RI 与 IMG 的相似性度量为:

绝对差算法 (MAD):

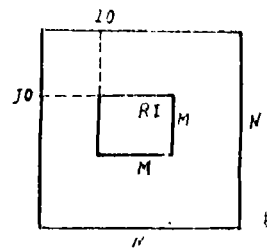


图 1

$$E(i_0, j_0) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M |RI(i, j) - IMG(i + i_0, j + j_0)|$$

其中,  $1 \leq i_0, j_0 \leq N - M + 1$

平方差算法 (MSD)

$$E(i_0, j_0) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M (RI(i, j) - IMG(i + i_0, j + j_0))^2$$

为了消除图像平均照度的不同所造成的影响, 可对这两种算法进行中性规范处理。

对MAD:

$$E(i_0, j_0) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M |RI(i, j) - IMG(i + i_0, j + j_0) - \overline{RI}(i, j) + \overline{IMG}(i + i_0, j + j_0)|$$

对MSD:

$$E(i_0, j_0) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M (RI(i, j) - IMG(i + i_0, j + j_0) - \overline{RI}(i, j) + \overline{IMG}(i + i_0, j + j_0))^2$$

序贯相似度检测算法 (SSDA):

利用绝对差 (MAD) 方法在匹配时其和增加缓慢, 不匹配时增加较快的特性, 可通过设置一门槛, 使得当累积误差超过该门槛便确认为非匹配位置, 而停止计算, 从而加快了搜索过程。用取点排序法<sup>[3]</sup>可进一步加快其搜索过程。

积相关算法 (PROD):

$$R(i_0, j_0) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M (RI(i, j) \cdot IMG(i + i_0, j + j_0))$$

该方法即使在理想情况下, 也有可能使相关平面最大值的位置不确定, 因此往往要归一化。

归一化积相关算法 (NPROD)

$$R(i_0, j_0) = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M (RI(i_0, j_0) \cdot IMG(i + i_0, j + j_0))}{\left( \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M IMG^2(i + i_0, j + j_0) \right)^{1/2} \left( \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M RI^2(i, j) \right)^{1/2}}$$

上式中, 由于  $\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M RI^2(i, j)$  对相关平面形状无影响, 故常可去掉。这种方法得到的相

关平面的相关峰值较平坦, 使得峰值探测较困难。统计相关检测可改善其这方面性能<sup>[6]</sup>。对该方法速度方面的改进措施是两步模板匹配, 或对其分子用快速付氏变换 (FFT)<sup>[5]</sup>, 但这两种方法都不能减少除法及开方的次数, 因而改善都有限。若将图像量化为二值 (-1, +1) 形式, 则NPROD与PROD具有相同的形式, 可大大加快运算速度。但二值化阈值的选择必须十分谨慎, 以防丢失有用信息<sup>[10]</sup>。

### 三、数字图像相关算法的微计算机仿真

在IBM PC/AT微计算机上,对4种相关算法进行了仿真。试验图像是事先由电视摄像机通过PCVISION板输入计算机并存入磁盘中的,也可以在监视器上将图像显示出来。仿真结果以两维曲线的形式画出,可看出相关平面的最大值与方差。八幅图像中选取了九个跟踪窗,这八幅图像分别为:运输机、喷气式飞机各两幅,直升飞机、战斗机、轰炸机、导弹各一幅。实验中,取 $N=32, M=16$ ,即跟踪窗尺寸为 $32 \times 32$ ,参考窗尺寸为 $16 \times 16$ 。

本文对绝对差、平方差、积相关及基于绝对差与积相关的混合算法进行仿真,其中,混合型相似性度量的公式为:

$$R(i_0, j_0) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \frac{RI(i, j) \cdot IMG(i+i_0, j+j_0)}{|RI(i, j) - IMG(i+i_0, j+j_0)| + 1}$$

对后两种算法,还将图像的原始灰级值减去一个阈值,该值等于图像的灰级平均值。

对上述图像的仿真结果表明,积相关(PROD)算法的相关平面极大值在理想情况下常偏离匹配位置,可见该方法不适用于这些图像的相关检测。其余的几种方法在理想情况下都能正确匹配。

归一化积相关函数(NPROD)在没减阈值之前,相关曲线接近于直线,减去上述阈值后,由相关图形中可以看出相关峰较尖锐。

混合型算法不管是否减去阈值,相关峰都较尖锐。但常常出现多峰情况。

为了比较各种方法的抗噪声能力,我们利用微机内部的伪随机噪声源产生在(0, 1)区间均匀分布的伪随机噪声RND,叠加到图像上。设原图像的灰级为 $I(x, y)$ ,则叠加噪声后图像的灰级等于 $I(x, y) + A \cdot (2(RND - 0.5))$ ,其中,A是一个可调常数,取决于所加噪声的大小。表1以两幅图像两种方法为例,给出了在不同图像信噪比下的仿真结果。其中相关

表1

相关方法	图像名称	容许图像SNR	图像所减的灰度平均值T	A	相关平面峰值	相关平面均值	相关平面标准差 $\sigma$	相关平面SNR
NPROD	YUNIO	—	0	0	1	0.995	$2.54 \times 10^{-8}$	2.05
		—	88	0	1	0.213	0.330	2.39
		1.35	89	12.0	0.805	0.222	0.249	2.34
		1.91	89	-9.6	0.856	0.264	0.253	2.34
	ZSFG10	—	0	0	1	0.997	$1.57 \times 10^{-8}$	2.08
		—	80	0	1	0.248	0.340	2.21
		0.661	80	10.4	0.737	0.208	0.236	2.24
		0.664	81	-9.6	0.780	0.285	0.258	1.91
MAD	YUNIO	—	—	0	0	1397	331	4.23
		3.65	—	10.4	1030	1813	247	3.18
		2.38	—	-8.8	864	1706	288	2.93
	ZSFG10	—	—	0	0	1151	298	3.88
		1.08	—	8.0	749	1377	238	2.64
		0.89	—	-8.8	803	1412	233	2.61

平面信噪比选用如下定义:

$$\text{SNR} = \frac{\text{相关峰最大值} - \text{相关平面均值}}{\text{相关平面标准差}}$$

其中, 相关平面的均值和标准差都是排除了相关峰附近  $7 \times 7$  范围内的。由仿真结果可以看出, 对于模拟噪声图像的处理能力, 四种相关算法的优劣顺序大体为: 平方差, 归一化积相关, 绝对差, 混合算法。

#### 四、实施方面的某些考虑

在实施方面的主要问题是计算量的问题, 总计算时间可由下式估计:

$$(\text{总计算量}) = (\text{相关算法运算量}) * (\text{搜索位置数})$$

##### 1. 关于相关算法的运算量。

随着VLSI技术的发展, 已可不考虑乘法与加法在执行速度上的差别, 但到目前为止, 执行除法仍是个费时而困难的问题。假设乘法与加法的时间相等, 各种算法的执行时间为:

MAD:  $2(N - M + 1)^2 \cdot M^2$ 次加法

MSD:  $3(N - M + 1)^2 \cdot M^2$ 次加法

NPROD:  $3(N - M + 1)^2 \cdot M^2 + N^2$ 次加法

$(N - M + 1)^2$ 次除法及开方运算

混合型:  $5(N - M + 1)^2 \cdot M^2$ 次加法

$M^2(N - M + 1)^2$ 次除法。

当分母数值范围有限时, 可考虑用查表法进行硬件除法运算。

##### 2. 关于搜索位置数

为缩短相关检测时间, 需研究快速搜索问题, FFT及两步模板匹配<sup>[4][5]</sup>虽能加快搜索但很有限, SSDA法仅对提高绝对差方法的运算速度很有效。旋升法<sup>[7]</sup>对单峰情况下可以明显减少搜索次数, 但对多峰情况的处理还需作工作。

## 五、参 考 文 献

- [ 1 ] 孙仲康, 沈振康,《数字图像处理及其应用》,国防工业出版社。
- [ 2 ] D.I.Barnsa, H.F.Silverman, IEEE, Trans. Comput., C-21, 1972, P179.
- [ 3 ] 孔巍,《红外与激光技术》,1987. No.2 B11
- [ 4 ] G.J.Vaderbrug, A.Rosenfeld, IEEE, Trans. Comput., C-26 1977, P284
- [ 5 ] A.Goshtasby, S.H.Gage, et.al, IEEE, Trans.PAMI, PAMI-6 (May, 1984) No.3, P374
- [ 6 ] W.K.Pratt, IEEE, Trans. AES AES-10 (May, 1974) No3, P353
- [ 7 ] 荆仁杰, 周亦农, 旋升法找匹配的研究, 中国通信学会图像通信学术讨论会论文集, 1982, 6. P17
- [ 8 ] 毕厚杰, 冒祖华, 电视跟踪系统中数字相关器的研究, 南京邮电学院学报, 1983, No1, P27
- [ 9 ] J.S.Boland, H.S.Ranganath, ADAO69208
- [ 10 ] J.S.Boland, L.J.Pinson, et al, IEEE, Trans. AES, AES-15 (Jan, 1979) No. 1. P11

### Micro-computer Simulation for Digital Image Correlation and Some Considerations for Implementation

Li Guiju

#### Abstract

In this paper, algorithms for digital image correlation often used at present, are intruduced and discussed in principle and simulated by IBM pC/AT microcomputer. A mixed algorithm is proposed, based on product correlation and sum of absolute differences algorithms. It shows that the performance of nomalized product correlation can be improved with the subtraction of the grey scale value of average from that of every pix in an image. To examine noise immunity of algorithms, pseudorandom noise mean of which is zero is added to the test image. Some considerations the for implementing these algorithms are presented.