

# 基于遗传算法的快速图像相关匹配\*

朱红 赵亦工

(西安电子科技大学测控工程与仪器系, 陕西, 西安, 710071)

TN919.8

**摘要** 采用遗传算法研究了图像相关匹配问题, 提出了快速图像相关匹配算法在最优匹配的前提下, 其计算量较 SSDA 算法降低了一个数量级以上; 可以采用 NPROD 匹配准则, 改善在低图像对比度条件下的匹配精度; 该算法每帧图像匹配计算时间基本恒定, 便于工程应用。

**关键词** 图像相关匹配, 遗传算法, 快速计算。

光电成像

## 引言

图像相关匹配跟踪技术是光电成像系统对运动和静止面目标跟踪的基本手段。对于近距离面目标或尺寸很大的面目标, 目标图像占据视场的大部分或充满视场, 图像相关匹配的数据量和计算量很大。图像相关匹配的计算实时性在一定程度上决定了该技术的实用性。

在工程上常用的快速图像相关匹配算法有两种: 序贯相似检测算法(SSDA)<sup>[1]</sup>和差分塔形结构算法(MPSA)<sup>[2]</sup>。SSDA 算法能够保证图像匹配的全局最优性, 但 SSDA 算法只能采用 MAD 匹配准则, 不能采用 NPROD 匹配准则, 并且随目标位置不同, 每帧图像所需的匹配时间不定, 不便于工程实现。MPSA 算法可采用 MAD 和 NPROD 匹配准则, 每帧图像所需的匹配时间基本恒定, 但 MPSA 算法原理上存在失配的可能, 特别是低对比度条件下失配的可能性更大, 它以匹配精度的损失换得速度的提高。因此, 在保证最优匹配精度的前提下大幅度降低图像相关匹配的计算量是人们关注研究课题。

图像相关匹配的计算量取决于它寻找最佳匹配位置时采用的搜索策略。现有的方法均采用遍历式搜索策略, 因而计算量的降低有限, 如果不采用新的搜索策略, 则难以在计算量的降低上取得实质性的突破。这是现有图像相关匹配算法的共同缺陷。

遗传算法是近年发展起来的新理论和新方法<sup>[3]</sup>, 其主要优点是简单、通用、鲁棒性和适于并行处理。它采用非遍历寻优搜索策略, 可以保证寻优搜索的结果具有全局最优性, 所需的计算量较之遍历式搜索小得很多。国外学者已经将遗传算法用于研究点模式匹配问题<sup>[5]</sup>。

本文将遗传算法用于图像相关匹配算法的研究, 提出了快速图像相关匹配算法。在同样的匹配效果条件下, 该算法在计算速度上较 SSDA 算法提高了一个数量级以上, 并且可以采用 NPROD 匹配准则, 提高在低信噪比条件下的匹配精度; 该算法还具有每帧图像匹配计算时间基本恒定的优点, 便于在实际系统中采用。

## 1 算法原理

将遗传算法用于图像相关匹配问题, 要解决以下五个问题:

\* 国防预研基金(编号:94J1A.5.2)资助项目  
稿件收到日期 1998-09-25, 修改稿收到日期 1998-12-07

### 1.1 图像相关匹配问题解的编码

图像相关匹配的目的是寻找模板的最优匹配位置,其坐标就是图像相关匹配的最优解,因此,最简单的编码方式是将坐标对应的二进制编码直接作为基因串.本文为避免在某些相邻空间位置(例如:127与128)所对应的二进制编码在码形上的很大差别对算法收敛性和匹配精度的不利影响,选择格雷码(Gray Code)编码方案. Gray码是一种循环码, Gray码中数值相邻的码字之间只有一个比特位不同,满足空间位置相邻编码码形相似的要求.

### 1.2 度量匹配程度的适应度函数

本文为了突出重要信息,提高对不同类型目标匹配定位的精度和跟踪可靠性,采用多子模板匹配方法.匹配模板划分如下:

$$M(x, y) = M_1(x_1, y_1) \cup M_2(x_2, y_2) \cup \dots \cup M_N(x_N, y_N), \quad (1)$$

式(1)中  $M_i(x_i, y_i) (i=1, 2, \dots, N)$  为各个子模板.实时图像以同样的方式划分,由各个子模板与子图像分别进行相关匹配,得到匹配度量函数  $R_i(x, y) (i=1, 2, \dots, N)$ ,综合匹配度量函数  $R(x, y)$  的定义为它们的加权和,并直接将其取为遗传算法中的适应度函数  $f(x, y)$

$$f(x, y) = R(x, y) = \sum_{i=1}^N m_i R_i(x, y). \quad (2)$$

根据跟踪目标类型(固定目标或运动目标)确定匹配模板的划分方式(例如:等分模板和内外波门模板等),以及权系数的选择.

图1和图2分别给出了对同一幅图像进行相关匹配得到的单模板匹配度量函数曲面和九分模板( $3 \times 3$ 等分)匹配度量函数曲面,其中,中心子模板权系数  $m_4 = 0.2$ ,其余  $m_i = 0.1, i \in \{0, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8\}$ .可以看出多子模板匹配度量函数曲面得到锐化,匹配度量函数曲面的锐化使匹配定位的精度提高.

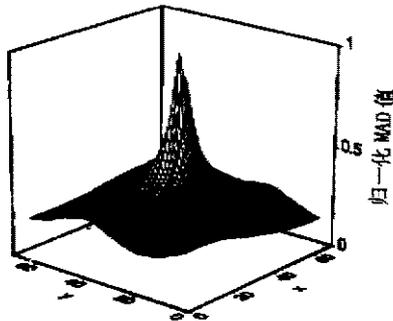


图1 单模板匹配度量函数  
Fig.1 The measuring function  
by single mask matching

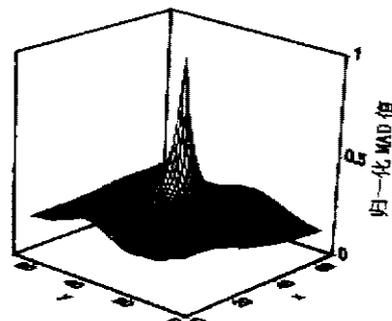


图2 多子模板匹配度量函数  
Fig.2 The measuring function  
by multimask matching

### 1.3 遗传操作

(1) 复制操作<sup>[3]</sup>:遗传算法根据适应度选择复制的父体,使品性好的父体被优先复制.本文采用线性化的“车轮选择”父体复制方法.该方法对父代中的个体按适应度赋予一个代表其品性的等级,它能够缩小个体间在适应度上的差距,使得适应度较低的父体也有一定的

复制概率,避免算法过早收敛陷入局部最优解。

(2) 交叉算子、突变算子和贪婪算子:交叉算子的效果是使来自父代的遗传物质组合在一起产生更优良的子代。本文采用均匀交叉算子,即子代染色体中的每一基因等概率地取自两个不同父体中的同一基因。复制操作和交叉算子产生的子代与其父代具有相象的品性,突变算子的效果是产生与父代品性有很大区别的子代,目的是使搜索过程摆脱局部最优区域。本文采用均匀突变算子,即按照一定的概率将子代染色体中的每一基因“反转”(1变成0,0变成1),产生新的突变染色体。对于某一代“人口”中适应度最高的个体,可以认为与其相邻的染色体可能具有更优良的品性,贪婪算子的作用就是对这些邻近的染色体进行搜索,以其最优者取代本代“人口”中适应度最高的个体。

(3) 稳态无重复技术<sup>[4]</sup>:利用上述遗传操作产生的子代与其父代进行对比,剔除重复的个体,并且将子代中的若干最优者取代父代中的最差者,从而生成新一代“人口”,目的是保留父代中的优良品性,使“人口”的适应度不断提高。

#### 1.4 遗传算法的初始化

(1) 限制区域均匀随机初始化方法:从原理上讲,遗传算法为了搜索到最优解,需要较多的人口和进化代数,当人口数和进化代数产少时,遗传算法搜索到的解的质量与“初始化人口”的质量有很大的关联性。本文针对图像相关匹配问题提出了一种限制区域人口初始化方法。

首先将实时图像划分为  $N \times M$  个小矩形区域,然后再采用随机初始化的方式获得位于该区域内的数个“初始人口”。计算所有初始人口的相关匹配度量函数,并根据匹配度量函数从中选择一定数量的人口作为遗传算法的“初始化人口”。这种初始化方法可以保证初始化人口均匀分布于整个解空间,以较少的人口和进化代数获得最优解。

(2) 序列图像跟踪时的初始化方法:图像相关匹配用于目标跟踪时,由于序列图像各帧之间的相关性,在已知前帧图像的匹配位置后,在后帧图像的匹配搜索时,搜索的重点区域是前帧图像匹配位置的周围区域。因此,可以采用下述的初始化方法。

在标准的初始化方法中,初始人口将在整个匹配搜索区域均匀随机地产生。本文采用的初始化方案初代人口服从于特定的二维分布,由于本初始化方法对于  $x$  和  $y$  方向上的操作是相互独立的,我们以  $x$  方向上的初始化为例加以说明。初始人口在  $x$  方向上服从如图3所示的离散概率分布。图3所示的概率分布可以用下述公式表达:

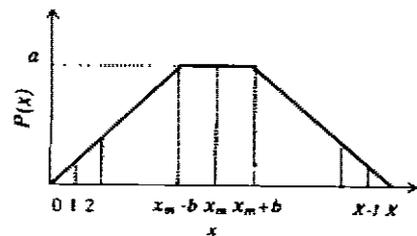


图3 初始人口在  $x$  方向上服从的概率分布  
Fig. 3 Probability distribution of initial population in  $x$  direction

$$p(x) = \begin{cases} \frac{a}{(x_m - b)} \cdot x & 0 \leq x < (x_m - b), \\ a & (x_m - b) \leq x < (x_m + b), \\ \frac{a}{(X - x_m + b)} (X - x) & (x_m + b) \leq x \leq X, \end{cases} \quad (3)$$

$$a = \frac{2}{X + 2b}; \quad (4)$$

式中 $(x_m, y_m)$ 为上帧图像匹配得到的目标位置,参数 $b$ 由上帧图像的匹配置信度和目标移动的速度决定,当置信度高且目标移动速度慢时则 $b$ 减小,初始化人口相对集中在 $(x_m, y_m)$ 附近较小的范围内;反之,当置信度低或目标移动速度快则 $b$ 增大,初始化人口将分散在以 $(x_m, y_m)$ 为中心的较大范围上.

### 1.5 遗传算法中各个参数的确定

遗传算法中的参数,例如:人口数、进化代数、交叉操作概率和突变操作概率等,对算法的收敛速度和结果的全局最优性产生影响.虽然从概念上能够定性分析它们之间的相互关系,但要通过解析的途径精确分析它们之间的相互关系具有较大的难度.因此,实际中一般是根据具体问题的要求大致确定参数的取值范围,再通过实验的方式确定合适的参数值.

## 2 实验结果

以实际采集的红外图像利用上述基于遗传算法的图像相关匹配算法进行计算机仿真,结果如下:

### 2.1 图像参数、目标类型和匹配方式

实时图像尺寸为 $N_1 \times N_2 = 460 \times 256$ ;匹配模板的尺寸为 $M_1 \times M_2 = 64 \times 64$ .

考虑到跟踪地面低对比度固定面目标时,匹配模板中的各个区域具有同等的重要性,所以在下面的仿真过程中无论MAD匹配准则或Nprod匹配准则,均采用单模板匹配.

### 2.2 仿真过程及参数

人口数=30;进化代数=20.

(1) 匹配位置编码方式:Gray码.

(2) 初始化:按四分之一模板的面积对实时图像进行划分,将实时图像划分为 $14 \times 8 = 112$ 个矩形区域,采用随机初始化的方式获得位于该区域内的两个“初始人口”.计算所有初始人口的相关匹配度量函数,选择适应度最高的30个人口作为遗传算法的“初始化人口”.

(3) 线性化等级指标为10-40(等级增量 $d=1$ ,窗口基值 $w=10$ ).

(4) 交叉操作概率=1.0(无条件交叉);突变操作概率=0.01.

(5) 贪婪搜索区域:最大适应度人口对应的空间匹配位置周围 $3 \times 3$ 领域.

(6) 稳态无重复替代:逆向比较,即子代中的最优者与父代中的最差者比较,子代中次最优者与父代中的次最差者比较,余者类推.如果前者大于后者,即用前者取代后者.

### 2.3 仿真参数选择依据

原理上讲,对于一定数量的人口,遗传算法为了搜索到全局最优解,需要较多的进化代数.当人口数和进化代数较少时,遗传算法能否搜索到全局最优解,既与算法的处理过程和参数的选择有关,也与具体问题的性质有关.

上述初始化参数的选择,使得在每一个四分之一模板面积大小的区域内有2个人口,因此初始化所得到的30个初始化人口的匹配精度小于二分之一模板尺寸,即小于32个像素(理想情况匹配精度达到四分之一模板尺寸,即16个像素).由于遗传算法的处理过程中引入了贪婪算子,使得每一代人口中适应度最大的人口从局部最优匹配位置向全局最优匹配位置至少移动一个像素,再考虑到其它遗传操作带来的寻优搜索能力,经20代人口进化后,将搜索到全局最优匹配位置.

仿真计算表明:在进化代数超过 15 代后,30 个人口将集中在最优匹配位置周围大约  $10 \times 10$  个像素的区域内,当进化代数达到 20 代时,获得全局最优匹配位置。

## 2.4 匹配计算量分析

遗传算法大幅度减少了图像相关匹配中模板匹配的次数,计算量大幅度降低,从理论上做如下分析。

(1) 原始相关匹配。

$$\text{窗匹配次数} = (460 - 64 + 1) \times (256 - 64 + 1) = 101569.$$

(2) 遗传算法相关匹配。

$$\begin{aligned} \text{窗匹配次数} &= (\text{初始化}) + (\text{代数}) \times [(\text{人口数}) + (\text{贪婪搜索})] \\ &= (2 \times 112) + 20 \times (30 + 8) = 984. \end{aligned}$$

(3) 计算效率 =  $101569/984 \approx 103$ (倍),考虑到遗传算法在遗传操作时所需的额外计算量,实际的计算效率低于上述值。

## 2.5 仿真计算结果分析

从图 4(a)中取定匹配模板,在图 4(b)中进行全场相关匹配.用 P166MMX 微机计算结果如表 1 所示.仿真中所选的图像亮度很高但对比度很低,图像中大部分区域没有明显的结构特征,某些匹配模板相似度很大(模板 3 和 4,5 和 6,7 和 9),某些模板包含的是匀质区(模板 10),因此属于难度较大的图像相关匹配例子。



图 4 相隔若干帧的两幅地面目标红外图像

Fig. 4 Two infrared images of objects on the ground separated from several frames

表 1 MAD 匹配准则下不同匹配算法计算性能比较  
Table 1 Comparison of computation performance of different matching algorithms under MAD matching criterion

序号	原始位置	原始算法		SSDA		遗传算法	
		匹配位置	时间/s	匹配位置	时间/s	匹配位置	时间/s
1	(198,96)	(198,96)	43.7	(198,96)	22.14	(198,96)	0.66
2	(271,116)	(271,116)	43.7	(271,116)	22.08	(271,116)	0.66
3	(118,102)	(118,102)	43.7	(118,102)	22.47	(118,102)	0.66
4	(40,102)	(40,102)	43.7	(40,102)	22.57	(40,102)	0.66
5	(138,16)	(138,16)	43.7	(138,16)	10.87	(138,16)	0.66
6	(278,16)	(279,16)	43.7	(279,16)	14.06	(279,16)	0.66
7	(198,165)	(198,165)	43.7	(198,165)	23.18	(198,165)	0.66
8	(98,176)	(99,176)	43.7	(99,176)	24.17	(99,176)	0.66
9	(358,96)	(358,96)	43.7	(358,96)	22.41	(358,96)	0.66
10	(38,16)	(39,16)	43.7	(39,16)	13.62	(39,16)	0.66

从表 1 可见: 在所有匹配位置上, 匹配结果与传统方法相同. 在匹配计算所需的时间上, SSDA 算法的速度比原始算法提高一倍左右, 但所需的计算时间与匹配模板在图像中的位置有很大关系. 对于同样的匹配效果, 遗传算法的速度较 SSDA 算法提高一个数量级以上, 且匹配时间基本恒定(遗传算法中随机判决运算所带来的计算量波动, 相比较而言, 可以忽略).

采用 Nprod 匹配准则获得的匹配结果类似, 差别在于传统算法需时 134s, 而遗传算法需时只 2s.

我们利用上述仿真程序做过数百幅不同种类图像的相关匹配实验, 得到相同的结果, 由于篇幅的限制, 本文仅给出其中一个难度较大的典型例子.

#### REFERENCES

- 1 Barnea D I, Silverman H E. A class of algorithms for digital image registration, *IEEE*, 1972, C-21 (2), 179-186
- 2 Kashef B G. A survey of new techniques for image registration and mapping, *SPIE*, 1983, 443: 222-239
- 3 Goldberg D E. *Optimization and Machine Learning*, Massachusetts, Addison Wesley, 1989
- 4 Davis L. *Handbook of Genetic Algorithms*, New York, Van Nostrand Reinhold, 1991
- 5 Ansari N, et al. *Dynamic, Genetic and Chaotic Programming*, John Wiley & Sons, Inc., 1992

### FAST IMAGE CORRELATIVE MATCHING BASED ON GENETIC ALGORITHM \*

ZHU Hong ZHAO Yi-Gong

(Department of Measurement-control and Equipment, Xidian University,  
Xi'an, Shaanxi 710071, China)

**Abstract** The problem of image correlative matching was studied by means of genetic algorithm and a fast image correlative matching algorithm was presented. With the condition of optimum matching, the computation amount of the algorithm was reduced more than 10 times compared with SSDA algorithm. The NPROD matching criterion can be employed in this algorithm to improve the matching precision for the case of low image contrast. The computation time is nearly constant for matching each frame of images in the presented algorithm, which brings convenience to the practical application.

**Key words** image correlation matching, genetic algorithm, fast computation.

---

\* The project supported by the Preliminary Research Foundation of National Defense  
Received 1998-09-25, revised 1998-12-07