

一类改进遗传算法的图像信息恢复研究

许晓晶, 饶妮妮

(电子科技大学生命科学与技术学院, 四川成都 610054)

摘 要: 首先, 提出了直接一阶混合映射的灰度转换方程, 改进了现有的基于远程相关性的图像信息恢复算法, 既克服了直接映射平滑性差的缺点, 又避免了一阶线性多项式映射存在的多项式系数分母为零的无意义问题可能带来的重大缺陷; 接着, 提出了一类改进的遗传算法作为图像恢复中远端窗口的搜索策略, 避免了遍历搜索的费时费力, 又克服了随机搜索的盲目性和不稳定性, 与基本遗传算法相比加快了收敛进程, 提高了准确性. 实验结果表明, 本文提出的两个方面的改进对图像恢复的效果令人满意, 特别是改进的遗传算法在全局寻优中表现出了良好的鲁棒性.

关键词: 图像信息恢复; 遗传算法; 远程相关性

中图分类号: TP39111 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 02-1120-04

Study of Image Information Restoration Based on An Improved Genetic Algorithm

XU Xiaojing, RAO Nini

(School of Life Science & Technology, University of Electronic Science & Technology of China, Chengdu, Sichuan 610054, China)

Abstract: First, a new class of gray scale transformation equation composed of the direct & 1-order polynomial mixed mapping are proposed, and it improves the existing image information restoration algorithm based on long-range correlation. The improved method not only overcomes the poor smoothness performance caused by the direct mapping, but also solves the possible serious bug brought by 1-order mapping when the denominator of the polynomial equals to zero. Second, a novel improved genetic algorithm used in the search of the remote window in the image restoration is presented. The new algorithm avoids the laboriousness of ergodic search and overcomes the blindness and instability of the random searching. Compared with the simple genetic algorithm, the improved genetic algorithm speeds up the convergent process and improves the accuracy. The experimental results show that the satisfactory performances can be obtained by means of the two improvements above. Especially the novel genetic algorithm demonstrates good robustness in the optimal search of the whole.

Key words: image information restoration; genetic algorithm; long-range correlation

1 引言

近年来,随着网络通信的范围和深度的扩展,人们对图形图像信息在通讯传输中的高效性和可靠性提出了更高的要求,有关研究主要集中在如何对被噪声污染以及丢失的图像信息进行有效的修复.目前,有学者提出了一种基于远程相关性的图像信息恢复技术^[1],该方法有效模拟了人类视觉系统(Human Vision Systems, HVS),通过在预先设定的图像区域内搜索与本地窗口最佳匹配的远端窗口,采用某种映射算法对本地窗口的中心丢失块(点)进行恢复,得到较好的效果.

文献[1]提出的一阶线性多项式映射的算法的确优于直接映射,但却忽视了多项式系数分母可能为零的情况,这将使得图像恢复效果可能出现重大缺陷,甚至不如直接映射.本文

提出了直接一阶混合映射的算法使这个问题得以解决.

另外,如何快速、准确地搜索远端窗口对整个算法来说至关重要.如果采用遍历搜索,虽然可以保证找到最佳窗口,但花费的时间可想而知;而采用随机搜索的方法既费时又不能保证在有限时间内找到全局最佳者,影响了整个算法的时效性和稳定性.近年来,遗传算法(GA)的研究已成为热点,广泛应用于许多领域,尤其在以有限的代价解决搜索和优化问题上表现出强大的优越性^[2],而遗传算法的性能和收敛速度又在很大程度上与遗传操作结构的设计以及群体生成策略有密切关系.基于此,本文针对基本遗传算法(SGA)的特点提出了一类改进型的遗传算法(Improved GA, IGA),应用于远程相关性的图像信息恢复操作.对256@256, 8bpp灰度图像的实验结果表明,图像信息恢复的效果有较明显的改善,特别是这类改

进的遗传算法在搜索中表现出了良好的鲁棒性。

2 基于远程相关性的图像信息恢复算法

2.1 原理与改进

基于远程相关性的图像信息恢复算法的原理如图 1 所示。通过比较远端窗口和本地窗口中斜线阴影部分的匹配程度,搜索最佳匹配的远端窗口,然后将远端窗口的灰色部分(完好图像)经映射后替换本地窗口的黑色部分(缺损图像),实现图像信息的恢复。

匹配程度用均方误差 MSE_M 衡量, MSE_M 越小则表示越匹配。

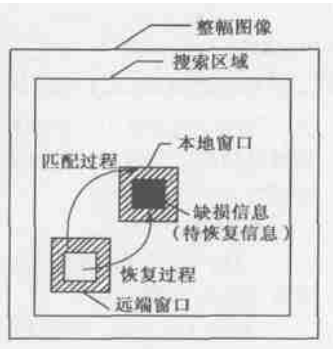


图 1 基于远程相关性的图像信息恢复示意图

$$MSE_M = \frac{1}{n_M} \sum_{i=1}^N [1 - S_i^l] \# [1 - S_i^r] \# [l_i - t(r_i)]^2 \quad (1)$$

其中,

l_i 为本地窗口中斜线阴影部分第 i 个像素点的值。

r_i 为远端窗口中斜线阴影部分第 i 个像素点的值。

S_i^l 表示本地窗口中斜线阴影部分第 i 个像素点的好坏。

($S_i^l = 0$ 表示像素点好, $S_i^l = 1$ 表示像素点坏)

S_i^r 表示远端窗口中斜线阴影部分第 i 个像素点的好坏。

($S_i^r = 0$ 表示像素点好, $S_i^r = 1$ 表示像素点坏)

$$n_M = \sum_{i=1}^N [1 - S_i^l] \# [1 - S_i^r] \quad (N \text{ 为窗口中斜线阴影部分像素点的个数})$$

$$t(x) = a_0 + a_1 x, \quad x \in R \quad (2)$$

其中 a_0 、 a_1 由式(3)计算得出。

文献[1]提出了一阶线性多项式(2)映射的恢复算法,却疏忽了式(3)中 a_1 分母可能为零的情况。显然,若 a_1 分母为零,将使得一阶线性映射 $t(x) = a_0 + a_1 x$ 失去意义。而且不同的软件系统对于分母为零的情况的处理方式也不尽相同,可能导致无法找到最佳的匹配窗口。鉴于此,本文将直接映射与一阶线性多项式映射相结合,提出了直接一阶混合映射的

灰度转换方程(4)来解决这个问题。

当 a_1 分母为 0 时,采用直接映射 $t(x) = x$; 当 a_1 分母不等于 0 时,仍采用一阶映射 $t(x) = a_0 + a_1 x$ 。在多数情况下, a_1 的分母是非 0 的。如此结合既可避免直接映射大范围应用导致恢复图像平滑性差的缺点,又解决了一阶映射存在的多项式系数分母为零的无意义问题。

$$\begin{cases} a_1 = \frac{\sum_{i=1}^N [1 - S_i^l] \# [1 - S_i^r] \# l_i - [\sum_{i=1}^N [1 - S_i^l] \# [1 - S_i^r] \# l_i] [\sum_{i=1}^N [1 - S_i^l] \# [1 - S_i^r] \# t_i]}{\sum_{i=1}^N [1 - S_i^l] \# [1 - S_i^r] \# t_i^2 - [\sum_{i=1}^N [1 - S_i^l] \# [1 - S_i^r] \# t_i]^2} \\ a_0 = \frac{1}{n_M} [\sum_{i=1}^N [1 - S_i^l] \# [1 - S_i^r] \# l_i - a_1 \sum_{i=1}^N [1 - S_i^l] \# [1 - S_i^r] \# t_i] \end{cases} \quad (3)$$

$$t(x) = \begin{cases} a_0 + a_1 x, & \sum_{i=1}^N [1 - S_i^l] \# [1 - S_i^r] \# t_i^2 - [\sum_{i=1}^N [1 - S_i^l] \# [1 - S_i^r] \# t_i]^2 \neq 0 \\ x, & \sum_{i=1}^N [1 - S_i^l] \# [1 - S_i^r] \# t_i^2 - [\sum_{i=1}^N [1 - S_i^l] \# [1 - S_i^r] \# t_i]^2 = 0 \end{cases} \quad x \in R \quad (4)$$

2.1.2 实验结果与分析

在图像编码算法中,应用广泛的是基于块的编码技术,已被多数图像和视频压缩标准采纳^[3-5]。这就意味着图像信号在编码和传输过程中丢失一位数据就将导致一个块的丢失。本实验以 VC++ 为编程软件,分别采用直接映射、一阶多项式映射、直接一阶混合映射三种算法对 256@256, 8bpp 的坏块图像进行恢复,块的大小为 8@8。以坏块为中心的本地窗口的大小定为 10@10,被搜索的远端窗口的大小也是 10@10,且它与本地窗口对应的中心 8@8 大小的块必须是完好的。搜索范围是以本地窗口为中心的 90@90 大小的区域。为了正确测试三种算法的效果,实验中采用遍历搜索的方法对搜索区域内所有的远端窗口逐一比较,确保找到最佳匹配窗口。

通常采用峰值信噪比指标 PSNR (Peak Signal to noise ratio)^[1] 衡量被试图像的客观保真度,即

$$PSNR = 10 \lg_{10} \frac{255^2}{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (o_i - t_i)^2} \quad (5)$$

其中, M 为整幅图像的像素点总数, o_i 和 t_i 分别为原始图像和被试图像相对应的第 i 个像素点的灰度值。

受篇幅限制,图 2 只给出了块丢失率为 10% 的图像的不同映射算法的恢复结果。



(a) 块丢失率为 10% 的图像, PSNR= 361.02dB; (b) 直接映射恢复的图像, PSNR= 781.56dB; (c) 一阶多项式映射恢复的图像, PSNR= 771.83dB; (d) 直接一阶混合映射恢复的图像, PSNR= 801.75dB; (e) 原始图像

图 2 块丢失率为 10% 的不同映射算法的图像恢复结果

由图 2(c) 可以看出, 一阶多项式映射在某些区域的恢复很不理想, 导致 PSNR 值低于直接映射. 经分析发现, 在图像中灰度值相同的区域将会出现多项式系数 a_1 分母为零的情况, 从而无法找到正确的匹配窗口. 由图 2(d) 可以看出, 本文提出的直接一阶混合映射的算法较好地回避了前两种映射算法的缺点, 综合了二者的优点, 得到了很好的恢复效果.

为了比较不同块丢失率下三种算法的恢复效果, 表 1 给出从 5% 到 30% 的块丢失率下各算法恢复图像的 PSNR 值. 需要说明的是, 在相同的恢复算法和相同的块丢失率下, 坏块的位置不同, 恢复后的 PSNR 值也会不同.

3 一类改进遗传算法的搜索策略

在有了好的图像恢复算法之后, 采用什么搜索策略来快速、准确地找到最佳匹配窗口就显得至关重要了.

遗传算法的主要思想就是模拟生物进化过程中的遗传、变异, 并通过/适者生存, 劣者淘汰的自然选择过程, 以有限的代价搜索到问题的最优解. 将遗传算法应用于对远端窗口的搜索, 既避免了遍历搜索的费时费力, 又克服了随机搜索的盲目性和不稳定性.

3.1.1 基本遗传算法(SGA)

应用基本遗传算法搜索远端窗口的思路是, 用远端窗口左上角的坐标代表该窗口, 并转化为二进制代码, 作为染色体参加遗传操作, 步骤如下:

(1) 在搜索范围内, 随机搜索 N 个远端窗口作为初始种群, 并作为父代.

(2) 计算每个父代的适应度值. 考虑到判断远端窗口的匹配程度是用均方误差 MSE_M 来衡量的, 可以用 MSE_M 值作为适应度值, 适应度值越小表示越匹配. 若适应度值低于阈值(根据具体情况设定)则认为符合优化准则, 找到了理想结果, 遗传操作结束; 若不符合优化准则, 则进入下一步操作.

(3) 对父代进行轮盘赌选择(即适应度佳的个体被选中的概率大), 选取一对父代, 将它们的染色体(二进制代码串)进行随机单点交叉, 产生一对子代. 共选取 $N/2$ 对父代, 产生 N 个子代.

(4) 每个子代进行小概率变异, 一般变异概率为 0.05, 要变异的子代随机选择其染色体代码的某一位进行变异, 即 0 和 1 翻转.

(5) 计算每一个子代的适应度值, 若符合优化准则, 找到了理想结果, 遗传操作结束; 若不符合优化准则, 则将子代作为父代返回第(3)步进入下一代的遗传操作. 如果世代数超过限定值(如 500), 就结束操作, 输出最后结果.

3.1.2 改进的遗传算法(IGA)

针对基本遗传算法的特点, 本文做出了以下改进:

3.1.2.1 在基本遗传算法的第(1)步中, 嵌入混沌序列搜索生成初始种群^[6]. 混沌行为的起源在于非线性系统对初值的敏感依赖性. 混沌并不是一片混乱, 而是有着精致的内在结构, 在一定范围内按其自身规律不重复地遍历所有的状态. 通过

表 1 不同块丢失率下三种映射算法恢复结果的 PSNR 值

图像恢复算法	块丢失率					
	5%	8%	10%	15%	20%	30%
未恢复的坏块图像	43.57dB	38.73dB	36.02dB	33.12dB	29.81dB	26.17dB
直接映射恢复的图像	85.53dB	75.46dB	78.56dB	70.27dB	66.52dB	64.83dB
一阶多项式映射恢复的图像	90.96dB	75.11dB	77.83dB	72.37dB	66.96dB	65.71dB
直接一阶混合映射恢复的图像	91.29dB	76.12dB	80.75dB	72.84dB	68.36dB	66.42dB

嵌入混沌序列搜索生成初始种群, 改观了常规遗传算法中初始种群随机产生带来的收敛慢的问题, 在一定程度上提高了搜索效率.

基本步骤^[7]如下:

(1) 随机搜索产生初始值 $X_0 \in [a, b]$, $[a, b]$ 为远端窗口搜索的坐标范围;

(2) 将 $X_0 \in [a, b]$ 映射到 $[0, 1]$ 区间内, 有

$$x_0 = \frac{X_0 - a}{b - a} \quad (6)$$

(3) 以 x_0 为初始值, 利用 Logistic 映射方程(7)得到序列 $x_i (i = 0, 1, \dots, M)$;

$$x_{i+1} = 1 - 2x_i^2, x_i \in [0, 1] \quad (i = 0, 1, \dots, M-1) \quad (7)$$

(4) 将 $x_i (i = 0, 1, \dots, M)$ 作逆映射得到序列 $X_i (i = 0, 1, \dots, M)$;

$$X_i = a + (b - a)x_i \quad (8)$$

(5) 计算序列 $X_i (i = 0, 1, \dots, M)$ 中 $M+1$ 个个体的适应度值, 取出前 N 个最佳者作为初始种群, $M+1 > N$.

3.1.2.2 在基本遗传算法的第(3)步中, 一对父代只产生一对子代, 这显然有悖于生物进化规律. 在改进的算法中, 一对父代进行多次交叉, 产生 $2n$ 个子代(n 为交叉次数, 一般取 $n=2$), 为避免/近亲繁殖现象, 从这 $2n$ 个子代中选出一对适应度最佳者作为这对父代的最终子代.

3.1.2.3 变异的目的在于避免陷入局部搜索. 在基本遗传算法的第(4)步中, 随机选择变异位的作法可能会导致染色体中需要变异的码位得不到及时的变异, 从而降低了整个算法的收敛速度. 如图 3 所示的一组长度为 8 的染色体代码, 它们的 B4 位都是 1, 无论怎样交叉, 它们的子代的 B4 位也都是 1. 如果这一位不变异的话, 将使得某些区域永远无法搜索到, 因此这一位相比其它位更需要变异. 在改进的算法中, 采用轮盘赌选择变异位的方法取代随机选择, 即将 $\$B$ 值转化为选中概率($\$B = |N_1 - N_0|$, N_1 表示所有染色体某一位为 1 的个数, N_0 则表示这一位为 0 的个数), $\$B$ 值大的码位变异的概率大.

	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
(1)	1	0	1	1	0	1	0	1
(2)	0	1	0	1	1	0	1	0
(3)	1	1	0	1	0	0	1	1
(4)	1	0	1	1	1	1	0	1
(5)	0	0	1	1	0	1	1	1
(6)	0	1	1	1	0	0	1	1
$\$B$	0	0	2	6	2	0	2	4

图 3 二进制编码长度为 8 的一组染色体代码

3121 4 在基本遗传算法的第(5)步中,用子代取代父代进行下一代的遗传操作,可能会抹杀掉一些优秀的父代个体.在改进的算法中,将变异后的子代与父代放在一起进行比较,选出前 N 个优秀的个体作为下一代的父代.可能会出现不同代的个体进行交叉,这在生物界中也是存在的.这样做尽可能地保留了优秀的个体,加快了收敛进程.

3121 5 考虑到图像中不同坏块恢复的难易程度不同,最佳匹配窗口的适应度值差异较大,因此在基本遗传算法中适应度阈值不好设定,而且找到的理想结果不一定是最佳结果.另外,遗传搜索需要经过多少代收敛无法确定,限定世代数的作法也很不经济.在改进的算法中,采用收敛判断取代阈值判断、世代数限定的作法.可以用均方差 MSC 衡量是否收敛,当 MSC 小于设定的阈值(如 01 01)就认为收敛了,选择适应度最佳者作为输出结果.

$$MSC=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^N(f_i-f_{min})^2$$

(9)

其中,N 为种群的个体数目, f_i 为第 i 个个体的适应度值(即 MSE_M 值), f_{min} 为当代个体中适应度值最小者(也即最佳者).

313 实验结果与分析

本实验以直接一阶混合映射为图像恢复算法,分别采用随机搜索、遍历搜索、基本遗传算法搜索、改进遗传算法搜索四种搜索策略,搜索区域大小为 90@90,对图 2(a)的坏块图像进行恢复.其中随机搜索采用限定次数的方法,取最佳值为输出结果;遍历搜索将对整个搜索区域(除去坏块影响的 15@15 的区域)逐一搜索.

实验结果如表 2 所示,改进遗传算法搜索的图像恢复效果与遍历搜索很接近,恢复一个坏块的平均世代数为 206,每代实际搜索了 20 个远端窗口,即搜索了 4120 个,其整体性能明显优于其它搜索策略.

表 2 不同搜索策略的对比

搜索策略	恢复一个坏块 搜索的窗口个数	PSNR 值
随机搜索	限定为 5000 个	611 42dB (不稳定)
遍历搜索	7875 个	801 75dB
基本遗传算法搜索 (种群个体数目 N= 10, 适应度阈值为 8, 变异概率为 0105, 世代数限定为 500)	平均 4820 个 (平均世代数 482)	731 04dB
改进遗传算法搜索 (种群个体数目 N= 10, 交叉次数 n= 2, 变异概率为 01 05, 收敛判断阈值为 0101)	平均 4120 个 (平均世代数 206)	801 23dB

4 结论

本文提出的直接一阶混合映射的算法对基于远程相关性的图像信息恢复技术作了改进,明显提高了恢复质量,并具有很好的稳定性,可以应用到其它被噪声(如椒盐噪声)污染的图像恢复上.改进的遗传算法表现出了良好的寻优性能,在基于远程相关性的图像信息恢复中不失为理想的搜索策略.尤其是搜索的数据量越大,它的优越性就越显著,对于其它类似的搜索和优化问题也具有一定的参考价值.

参考文献:

[1] D Zhang, Z Wang. Image information restoration based on long2range correlation[J]. IEEE Trans Circuits Syst Video Technol, 2002, 12(5): 331- 341.

[2] 王小平, 曹立明. 遗传算法))) 理论、应用与软件实现[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2002: 1- 4.

[3] G Walleye. The JPEG still image picture compression standard[J]. Commun. ACM, 1999, 34(4): 30- 44.

[4] D Le Gall. MPEG: A video compression standard for multimedia appl2cations[J]. Commun ACM, 1991, 34(4): 46- 58.

[5] M Liou. Overview of the p@64kbit/ s video coding standard[J]. Con2mun ACM, 1991, 34(4): 59- 63.

[6] 王宁, 蔚承建, 等. 基于嵌入混沌序列的遗传算法[J]. 系统工程理论与实践, 1999, (11): 1- 8.

[7] N Rao, S Q Li, X J Xu. Design and realization of the combined chaotic sequence[A]. 第一次 CDMA 系统扩频码设计国际会议论文集[C]. 成都: 西南交通大学出版社, 2001. 46- 51.

作者简介:



许晓晶 女,1977 年 9 月,天津市人,2001 年获电子科技大学生物医学工程学士学位,同年起就读电子科技大学生命科学与技术学院研究生至今,研究方向为数字图像处理,遗传算法及其应用.

饶妮妮 女,1963 年 5 月出生于四川宜宾,教授、博士生导师,1997 9~ 1998 19 和 2003 11~ 2004 12 为英国莱福德大学访问学者,在国内外发表涉及信息加密技术、移动通信、生物医学工程及教学研究的论文三十余篇,主持参与科研和教学研究项目十余项,现在的主要研究兴趣为信号/ 图像处理、生物信息学、移动通信.