

# 约束优化进化的夜间图像时频复合加权提取

刘淑琴<sup>1</sup> 彭进业<sup>2</sup>

(西北大学信息科学与技术学院 西安 710127)<sup>1</sup> (西北工业大学电子信息学院 西安 710072)<sup>2</sup>

**摘要** 研究了一种约束优化进化的夜间图像时频复合加权提取技术。对多帧夜间图像的时域与频域同时加权处理是一种深度检索夜间图像信息的先进技术。夜间图像质量低,传统的夜间图像信息检索技术采用单独的时域检索方法,无法对多帧夜间图像的频谱特性进行分析和信息检索。为此,提出一种约束优化进化的夜间图像时频复合加权提取技术。首先在频域和时域同时对多帧原始图像进行处理,提取多帧图像之间的相关信息;然后做加权处理,形成新的图像特征;在此基础上,通过约束优化进化算法对图像信息检索的结果不断进行循环优化,最终达到较好的效果。采用一组夜间图像进行了实验测试,结果显示,采用约束优化进化的夜间图像时频复合加权提取,多帧图像之间的时域和频域特征得到了很好的加利用,最终实现了图像信息的深度提取。该方法在图像检索领域具有很好的应用价值。

**关键词** 约束优化进化, 图像信息提取, 时频复合加权  
**中图分类号** TP399 **文献标识码** A

## Extraction of Nighttime Images with Time Frequency Weighted and Constrained Optimization Evolutionary Algorithm

LIU Shu-qin<sup>1</sup> PENG Jin-ye<sup>2</sup>

(School of Information Science and Technology, Northwest University, Xi'an 710127, China)<sup>1</sup>

(School of Electronics and Information, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)<sup>2</sup>

**Abstract** The extraction of nighttime images with time frequency weighted and constrained optimization evolutionary algorithm was studied. The treatment of multi-frame nighttime images in time domain and frequency domain is an important method for information extraction. In traditional processing method, the low quality nighttime images are treated with a separate time-domain retrieval method, so the whole domain information cannot be used. The extraction of nighttime images with time frequency weighted and constrained optimization evolutionary algorithm was proposed. Firstly, the nighttime images were processed in the time domain and frequency domain simultaneously. Then the multi-frame images were weighted, and the new feature was formed. On this basis, the effect of the images was cyclically improved through constrained optimization evolutionary algorithm, and ultimately a better result was achieved. A team of nighttime images was used to test the ability. The result shows that the information of time domain and frequency domain can be used well, and the image information is extracted with good performance. The algorithm has good value for image information extraction.

**Keywords** Constrained optimization evolutionary, Image information extraction, Time frequency weighted

## 1 引言

图像处理技术是近年来随着计算机技术和各种传感器技术的大力普及而发展起来的一种先进的数据信息传递技术。在图像发展领域,一个非常重要的问题是如何从多帧模糊图像中检索出有用的图像信息。从模糊的夜间图像中检索出有用信息的难点主要集中在两个方面:一是夜间图像的像素质量很低,仅从图像的时域或频域信息无法提取出图像的有用信息;二是由于多帧夜间图像之间的相关性不是很大,在相关性差的条件下,要实现模糊图像的信息检索是非常困难

的<sup>[1,2]</sup>。传统的图像数据处理方法很多,文献[3]采用单独的时域处理方法,对于多帧图像,在图像的时域上,通过多帧之间的直接叠加或者时间插值后的叠加,将每幅夜间图像上的有用信息叠加,从而达到图像信息增强的目的,图像数据的相位相反,使图像叠加会出现图像相消的结果。文献[4]解决了图像叠加出现的图像相消的结果,但算法计算冗余信息过多。文献[5,6]计算时没产生冗余信息,但在时域提取多帧图像数据的时域时,产生模糊图像数据,增加了检索的困难。文献[7]在处理夜间图像时,产生的图像清晰度有所增加,但检索时采用最小二乘法,操作复杂,不利于实际应用。文献[8]提

到稿日期:2013-08-11 返修日期:2013-11-03 本文受国家自然科学基金(61075014)资助。

刘淑琴(1986—),女,博士生,主要研究方向为图像检索、智能计算, E-mail: lsynate@163.com; 彭进业(1964—),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为图像处理、人工智能等。

出了提高图像处理清晰度的思路,但没给出具体的算法,只停留在理论的层面上。

针对上述算法的缺点,本文提出一种约束优化进化的夜间图像时频复合加权提取。在图像信息检索时,首先在频域和时域同时对多帧原始图像进行处理,提取多帧图像之间的相关信息,然后做加权处理,形成新的图像特征。在图像加权后,通过约束优化进化算法对图像信息检索的结果不断进行循环优化,直到最终达到较好的效果。最后采用一组多帧图像进行实验,以测试系统性能。

## 2 约束优化进化算法

约束优化进化算法是一种依靠对优化进化算法的约束完成的系统控制和进化算法,约束优化算法定义为:

$$\begin{aligned} \minimize f(\vec{x}) \quad \vec{x}=(x_1, x_2, \dots, x_n) \in \mathcal{R}^n \\ \text{subject to } g_j(\vec{x}) \leq 0, j=1, \dots, l \\ h_j(\vec{x})=0, j=l+1, \dots, p \end{aligned} \quad (1)$$

其中,  $x \in \Omega$ ,  $S$  为约束优化进化算法决策向量,  $\Omega$  为约束优化进化算法可行域,  $g_j YxY \leq 0$  为第  $j$  个不等式约束条件,  $h_j YxY=0$  为第  $j$  个等式约束条件。  $l$  表示不等式约束条件的个数<sup>[9]</sup>。

当下面定义式成立时:

$$\Omega = \{ \vec{x} \in S \mid g_j(\vec{x}) \leq 0, j=1, \dots, l; h_j(\vec{x})=0, j=l+1, \dots, p \} \quad (2)$$

可以认为约束优化进化算法的进化理论是成立的。此时,约束优化进化算法可以系统地表示为:

$$\min \vec{y} = \vec{f}(\vec{x}) = (f_1(\vec{x}), f_2(\vec{x}), \dots, f_m(\vec{x})) \quad (3)$$

其中,  $\vec{x}=(x_1, x_2, \dots, x_n) \in X \subset \mathcal{R}^n$  为优化进化的决策向量,  $X$  为优化进化的决策空间,  $\vec{y} \in Y \subset \mathcal{R}^m$  为优化进化的目标向量,  $Y$  为优化进化的目标空间。

$$|h(\vec{x})| - \delta \leq 0 \quad (4)$$

其中,  $\delta$  为等式约束条件的容忍值,一般取较小的正数。在约束优化进化算法中,将等式约束条件转换为不等式约束条件处理后,将包含  $p$  个不等式约束条件。

约束优化进化算法的优化系数定义为:

$$G_j(\vec{x}) = \begin{cases} \max\{0, g_j(\vec{x})\}, & 1 \leq j \leq l \\ \max\{0, |h_j(\vec{x})| - \delta\}, & l+1 \leq j \leq p \end{cases} \quad (5)$$

可简化为:

$$G(\vec{x}) = \sum_{j=1}^p G_j(\vec{x}) \quad (6)$$

在约束优化进化算法中,约束条件的反映程度是非常重要的,约束优化进化算法的个体  $x$  在群体中的不可行性是系统需要考虑的因素。值得注意的是,在约束优化进化算法中,由于各个约束条件之间存在一定情况下的特征差异,因此某些约束条件可能对约束优化进化算法中个体的约束违反程度起到一定的影响作用。

再者,通过约束优化进化算法的标准化来平等地对待每个约束优化进化算法的约束条件。在约束优化进化算法的标准化过程中,首先找出约束优化进化算法每个群体中的个体违反每个约束条件的最大值<sup>[10,11]</sup>。

一般系统处理中,经常采用数字化处理的方法,数字化后的约束优化进化算法的优化系数定义为:

$$\begin{cases} G_j^{\max} = \max_{i=1, \dots, N} (G_j(\vec{x}_i)) \\ j \in \{1, \dots, p\} \end{cases} \quad (7)$$

其中,  $N$  为约束优化进化算法的群体规模,即群体中所包含的个体数;利用这些  $G_j^{\max}$  可以标准化个体  $\vec{x}_i$  对每个约束条件的违反值,最后个体  $\vec{x}_i$  的标准化约束违反程度  $G_{nor}(\vec{x}_i)$  定义为约束优化进化算法中个体的约束违反标准值均值。

$$G_{nor}(\vec{x}_i) = \frac{\sum_{j=1}^p G_j(\vec{x}_i) / G_j^{\max}}{p} \quad (8)$$

其中,  $i \in \{1, \dots, N\}$  为序列值。

系统的优化相应函数定义为:

$$fitness(\vec{x}) = f(\vec{x}) + \sum_{j=1}^p r_{k,j} G_j^2(\vec{x}) \quad (9)$$

其中,  $r_{k,j} (k=1, \dots, q; j=1, \dots, p)$  为约束优化进化算法用户对每个约束条件定义的约束违反水平数。若约束优化进化算法中惩罚项中的惩罚系数随着约束优化进化算法进化代数而改变,则这类方法称为约束优化进化算法的动态惩罚函数法。

离散化后的约束优化进化算法动态惩罚函数定义为:

$$fitness(\vec{x}) = f(\vec{x}) + (Ct)^a \sum_{j=1}^p G_j^2(\vec{x}) \quad (10)$$

通过如上定义,可以形成约束优化进化算法的系统集成定义函数,其表示的是系统约束优化进化的能力,定义为:

$$fitness(\vec{x}) = \begin{cases} f(\vec{x}), & \text{if feasible} \\ 1+rG(\vec{x}), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

采用上面的系统集成定义函数,衡量约束优化进化算法的评判标准。

约束优化进化算法的流程如图 1 所示。

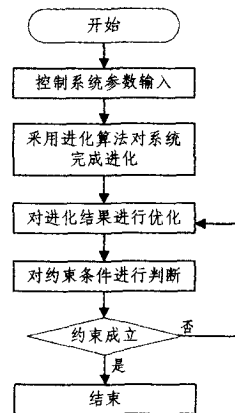


图 1 约束优化进化算法流程

## 3 夜间图像时频复合加权提取技术

夜间图像时频复合加权算法是一种基于夜间图像数据的频域和时域加权同时处理算法,利用算法的加权特性,同时在时域和频域完成图像信息的提取和检索<sup>[12,13]</sup>。图像深度检索技术是在夜间图像时频复合加权的基础上实现深度图像信息的提取和检索。

夜间图像时频复合加权算法中,假设夜间图像时频复合加权的原始信号模型为<sup>[14,15]</sup>:

$$g(t) = \sqrt{s} f(s[t-\tau]) \quad (12)$$

其中,  $f(t)$  为原始信号,  $s = (c-v)/(c+v)$  称为图像尺度因子, 简称为尺度, 它表征了原始图像时频复合加权算法信号的伸缩变化。  $\sqrt{s}$  是图像时频复合加权算法归一化因子。

连续夜间图像时频复合加权算法将一维函数映射为时间尺度  $a$  和时间平移  $b$  的二维函数。平方可积函数  $y(t)$  对图像时频复合加权  $\psi(t)$  的连续夜间图像时频复合加权变换为:

$$W_{\psi y}(a, b) = \langle y, \psi_{a,b} \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} y(t) \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi^* \left( \frac{t-b}{a} \right) dt \quad (13)$$

连续图像时频复合加权函数族  $\psi_{a,b}$  是由  $\psi(t)$  经过如下仿射变换得到:

$$\psi_{a,b}(t) = [U(a, b)\psi(t)] = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi \left( \frac{t-b}{a} \right) \quad (14)$$

其中,  $U(a, b)$  是对仿射群酉变换, 因子  $1/\sqrt{|a|}$  保证了该酉变换的能量归一化。

将原始图像信号  $f(t)$  作变量代换  $a=1/s, b=\tau$ , 重写式, 得到:

$$f_{s,\tau}(t) = [U(1/s, \tau)f(t)] = \sqrt{|s|} f(s(t-\tau)) \quad (15)$$

夜间图像时频复合加权信号形式为:

$$u(t) = \frac{1}{\sqrt{T}} \text{rect} \left( \frac{t}{T} \right) \exp \{ -j[2\pi K \ln(1 - \frac{t}{t_0})] \} \quad (16)$$

其中,  $\text{rect}(t) = 1, |t| \leq 1/2$ 。

夜间图像时频复合加权信号的调频规律为双曲函数, 即:

$$f_i(t) = \frac{K}{t_0 - t} \quad |t| \leq \frac{T}{2} \quad (17)$$

其中,  $K = T f_{\max} f_{\min} / B, t_0 = f_0 T / B, f_0$  为算术中心频率,  $f_{\min}, f_{\max}$  分别为最低和最高频率。

夜间图像时频复合加权信号的图像变换定义为:

$$W_u u(a, b) = e^{j2\pi K \ln a} \times \frac{K}{\sqrt{a}} \left\{ \left[ \frac{a e^{\frac{j2\pi f_{\min}}{a} (b-b_a)}}{f_{\min}} - \frac{e^{j2\pi f_{\max} (b-b_a)}}{f_{\max}} \right] + j2\pi (b-b_a) [Ei(j2\pi f_{\max} (b-b_a)) - Ei(\frac{j2\pi f_{\min}}{a} (b-b_a))] \right\} \quad (18)$$

其中,  $b_a = (1-a)(\frac{1}{af_{\max}} - \frac{T}{2}), Ei(\cdot)$  表示指数积分。

如上所述, 通过图像时频复合加权算法, 可以很好地实现图像信息的深度检索技术。

## 4 系统仿真实验与结果分析

### 4.1 仿真实验环境描述

为了测试基于约束优化进化的图像时频复合深度加权检索技术的图像信息检索结果与传统图像检测结果的性能差异, 采用一组强杂波背景下夜间的直升机分布式图像进行测试实验, 运用 Matlab 仿真软件, 搭建实验环境。

### 4.2 结果分析

原始数据采集器采集到的强杂波图像第 1 帧如图 2 所示, 强杂波图像第 2 帧如图 3 所示, 帧与帧之间间隔 10s。

采用传统的图像处理技术进行图像处理的结果如图 4 所示。

从图 4 可以看出, 采用传统的图像处理方法, 可以对图像进行一定的时域叠加处理, 形成轮廓, 但是不能形成完整的物体模型。

约束优化进化的图像时频复合深度加权检索中, 需要对图像的频谱进行详细的分析, 原始图像第 1 帧的谱图如图 5 所示, 原始图像第 2 帧的谱图如图 6 所示。

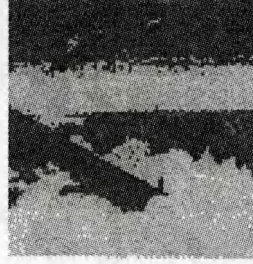


图 2 原始图像第 1 帧

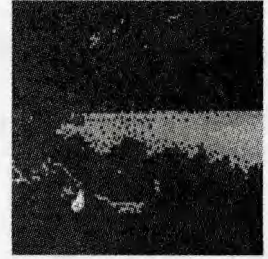


图 3 原始图像第 2 帧

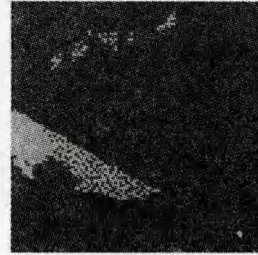


图 4 传统图像处理结果

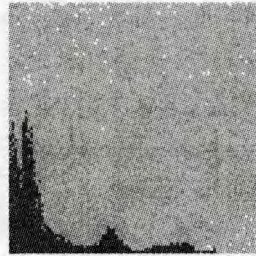


图 5 原始图像第 1 帧的谱图



图 6 原始图像第 2 帧的谱图

从图 5 和图 6 可以看出, 图像的谱图在低频段存在相似性很高的频谱分布, 这是因为两幅图像中均有相同的强目标物体, 而杂波虽然在时域很强, 但是在频域散布开时, 作为谱基底。

采用图像时频复合深度加权的结果如图 7 所示。

从图 7 可以看出, 采用图像时频复合深度加权后, 每个单独的地方, 图像信息可以被很好地检索出来, 但依然无法形成很好的整体轮廓。

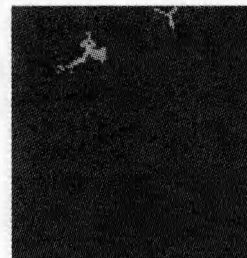


图 7 图像时频复合深度加权的结果

采用约束优化进化算法对图像时频复合深度加权结果进

行优化,第1轮的优化结果如图8所示。第2轮的优化结果如图9所示。

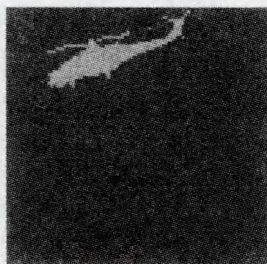


图8 约束优化进化算法第1轮的优化结果      图9 约束优化进化算法第2轮的优化结果

从图8和图9的结果可以看出,随着约束优化进化算法的不断优化,物体的整体图形被很好地检索出来。

**结束语** 研究了一种约束优化进化的夜间图像时频复合加权提取来实现对多帧图像的时域与频域同时加权处理的技术。在传统的图像信息检索技术中,往往采用单独的时域检索方法,无法对多帧图像的频谱特性进行分析和信息检索。所以提出了一种约束优化进化的夜间图像时频复合加权提取。在图像信息深度检索时,首先在频域和时域同时对多帧原始图像进行处理,提取多帧图像之间的相关信息,然后在时域和频域同时做加权处理,形成新的图像特征,在时域和频域同时做加权处理的基础上,通过约束优化进化算法对图像信息检索的结果不断进行循环优化,由于算法具有遗传性能,因此不断进化,使得每次优化的效果均比前面的好,最终达到较好的效果。最后采用一组多帧图像进行了实验测试,结果显示,采用约束优化进化的夜间图像时频复合加权提取,多帧图像之间的时域和频域特征得到了很好的加权利用,采用约束优化进化算法,图像的优处被不断保存,缺处被不断改进,最终实现图像信息的深度检索。因此,该方法在图像检索领域具有很好的应用价值。

### 参 考 文 献

[1] 李敏,李俊.基于人类视觉系统特性的图像质量评价算法[J].科技通报,2013,29(2):160-162

(上接第290页)

[10] Thung K H, Paramesran R, Lim C L. Content-based image quality metric using similarity measure of moment vectors[J]. Pattern Recognition, 2012, 45(6): 2193-2204

[11] Gao X, Lu W, Tao D, et al. Image quality assessment based on multiscale geometric analysis[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2009, 18(7): 1409-1423

[12] 孙玉宝,费选,等.基于Contourlet的图像感知质量评价[J].电子学报,2011,39(3):649-655

[13] Sheikh H R, Wang Z, Cormack L, et al. LIVE Image Quality Assessment Database Release2 [EB/OL]. <http://live.ece.utexas.edu/research/quality>

[2] 雷亮,汪同庆,杨波.图像关联规则挖掘研究[J].计算机应用研究,2009(6):2374-2376

[3] 李艳玲,黄春艳,赵娟.基于灰色关联度的图像自适应中之滤波算法[J].计算机仿真,2010,27(1):238-240

[4] Cai Z, Wang Y. A multiobjective optimization based evolutionary algorithm for constrained optimization[J]. IEEE Trans. on Evolutionary Computation, 2006, 10(6): 658-675

[5] Runarsson T P, Yao X. Search biases in constrained evolutionary optimization[J]. IEEE Trans. on Systems, Man, Cybernetics (C), 2005, 35(2): 233-243

[6] 舒风笛,王敏,毋国庆.图像数据关联规则挖掘[J].小型微型计算机系统,2001(11):1353-1356

[7] 杜辉.基于小波变换的彩色图像中快速人脸检测算法[J].科技通报,2012,28(12):89-90

[8] Yu J X, Yao X, Choi C, et al. Materialized view selection as constrained evolutionary optimization[J]. IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics (C), 2003, 33(4): 458-467

[9] 杨赛,赵春霞.图像分类中的概率乘积核函数[J].中国图象图形学报,2013,8(4):45-47

[10] 雷庆,李绍滋.动作识别中局部时空特征的运动表示方法研究[J].计算机工程与应用,2011,46(34):7-10

[11] 何友,刘永,孟祥伟.杂波图CFAR平面技术在均匀背景中的性能[J].电子学报,2010,27(3):119-120,123

[12] 朱志刚,徐光祐,杨波.自动交通监测系统的二维时空图象方法[J].中国图象图形学报,2011,1(2):101-107

[13] 王扬扬,李一波,姬晓飞.人体动作的超兴趣点特征表述及识别[J].中国图象图形学报,2013,18(7):805-812

[14] Ge Ji, Wang Yao-nan, Zhang Hui, et al. Research on Pixel Probability Statistics based Background Modeling Algorithm Applied in Liquid Foreign Particle Inspection Machine[J]. IJACT (J), 2013, 5(1): 468-476

[15] Hua Zhen, Li Ye-wei, Li Jin-jiang. Image Salient Region Extraction Algorithm Based on Improved Visual Attention Model[J]. JCIT (J), 2011, 6(5): 280-290

[16] 沈垣,王汉全,毛建国.数字图像相关方法的大变形初值估计[J].重庆理工大学学报:自然科学版,2013,27(11):86-90

[14] Image Coding and Analysis Laboratory, Oklahoma State University. Categorical Subjective Image Quality [EB/OL]. <http://vision.okstate.edu/csiq/>

[15] Ninassi A, Le Callet P, Autrusseau F. Pseudo no reference image quality metric using perceptual data hiding[C]//Electronic Imaging, International Society for Optics and Photonics, 2006: 60570G-1-12

[16] Sheikh H R, Sabir M F, Bovik A C. A statistical evaluation of recent full reference image quality assessment algorithms[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(11): 3440-3451