

# 基于数据同化的图像融合方法研究

杨思燕<sup>1</sup>, 陈为胜<sup>2</sup>

(1. 陕西广播电视大学 计算机与信息管理系统, 陕西 西安 710119;

2. 西安电子科技大学 数学与统计学院, 陕西 西安 710071)

**摘要:**数据同化凭借其在数值预报中将观测数据与理论模型相结合的特点,目前广泛应用于遥感图像处理及图像融合领域。文中介绍了数据同化的含义和数据同化系统的构成,并分析了其应用于图像融合的原理;结合现有的研究成果着重分析了数据同化框架下结合不同优化算法的图像融合方法,并对其进行分类比较,给出了各方法的优缺点和研究成果及应用;最后在总结了各种基于数据同化的图像融合方法普遍存在的问题的基础上,探讨了进一步发展与研究的方向。

**关键词:**图像融合;数据同化;遗传算法;粒子群算法;差分进化算法

中图分类号:TP301

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)11-0069-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.11.018

## Research on Image Fusion Method Based on Data Assimilation

YANG Si-yan<sup>1</sup>, CHEN Wei-sheng<sup>2</sup>

(1. Department of Computer and Information Management, Shaanxi Radio & TV University,

Xi'an 710119, China;

2. School of Mathematics and Statistics, Xidian University, Xi'an 710071, China)

**Abstract:**Data assimilation with its benefits of combing observation data with prediction model in the field of numerical prediction is widely used in the field of remote sensing image processing and the image fusion. In this paper, the meaning of data assimilation and the structure of its system are presented, the principle of its applying into image fusion is analyzed. Referring to the existed research, also have a detailed analysis of different image fusion methods based on data assimilation and different optimization algorithms, further more, the work of classification and comparison is done, both the advantages and the disadvantages are emphasized and the direction of future research are showed. Then by summarizing the insufficient caused by the image fusion methods based on data assimilation, the development and the research direction of this method are discussed further.

**Key words:**image fusion; data assimilation; GA; PSO; differential evolution algorithm

## 0 引言

数据同化最早是由气象、海洋领域引入的,而这些背景下的观测数据存在分布不均、易产生误差等问题<sup>[1]</sup>,主要是将观测数据与模型预测数据相结合,不断同化新的观测数据以得到更好的预测结果,同时使模型系统也不断得到优化的数据处理过程。由于数据同化系统的优越特性,它也被广泛应用到了其他领域。

图像融合是指将多源信道所采集到的关于同一目标的图像数据经过图像处理,提取各自信道的信息最后综合成同一图像以供进一步观察处理的过程。像素级图像融合<sup>[2]</sup>主要包括两个方面:基于空间域的图像融合方法,如平均加权融合、基于主成分分析(PCA)

融合<sup>[3-4]</sup>等以及基于变换域的图像融合方法,如金字塔变换<sup>[5-6]</sup>、小波变换<sup>[7-8]</sup>、Contourlet 变换<sup>[9-10]</sup>等。已有的这些像素级图像融合方法往往存在融合规则不易根据融合图像的后续使用要求进行自适应调整,并且各种方法的优点不易综合的问题。文中研究的基于数据同化的图像融合方法能综合当前各种融合方法的优点,进一步提高融合图像的效果。

## 1 数据同化与图像融合

### 1.1 数据同化

所谓数据同化,是指在考虑数据时空分布以及观测场和背景场误差的基础上,根据一定的数学模式和

收稿日期:2013-12-11

修回日期:2014-03-12

网络出版时间:2014-09-11

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61272280);陕西工商职业学院课题(13G-08-B22)

作者简介:杨思燕(1976-),女,讲师,研究方向为智能图像处理与模式识别、嵌入式软件设计。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140911.0942.010.html>

优化标准,将不同空间、不同时间、采用多种手段获得的观测资料有机结合,建立相互协调的分析或预报优化系统,以确定那些不能直接观测的量的相关信息,同时模式本身也可以得到优化<sup>[11-12]</sup>。

数据同化的本质就是将观测数据和数值模拟数据通过某种方法有效地结合起来,最后得到更客观、接近自然的分析结果,其一般运行流程如图1所示<sup>[13]</sup>。

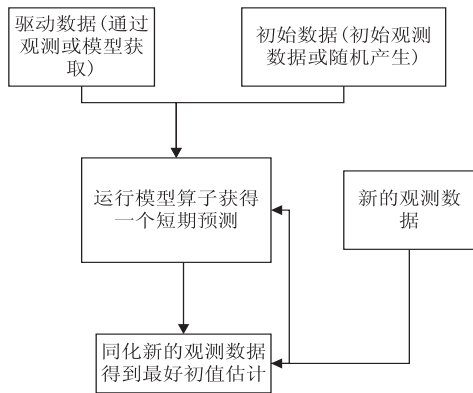


图1 数据同化流程图

数据同化经典算法基本过程为:

- (1) 以模式预报场作为初估场;
- (2) 对更新后的场作初始化处理;
- (3) 向前预报若干步,并将新的预报场作为下次更新的初估场,再返回到(1);

(4) 如此反复,形成了一个循环过程:插入观测—更新预报场—初始化—模式预报—插入观测—更新预报场—初始化—模式预报……

这种同化方法中每一次循环的开始,都用新来的观测数据更新预报场。

## 1.2 数据同化系统

针对不同领域的应用,数据同化系统也各有不同,现有研究领域的数据同化系统主要包括大气同化系统、海洋同化系统及水文数据同化系统等<sup>[14-15]</sup>。

综合各个数据同化系统的本质结构特点,数据同化系统一般由模型算子、观测算子、目标函数、优化算法等组成,以优化目标函数为目标。

(1) 模型算子是一种算法模型,利用当前时刻驱动数据通过给定算法做出下一时刻的短期预报。模型算子就是通过一定的算法给出预测数据的过程;

(2) 观测算子是通过模型或分析方法获取各时刻的观测值,观测数据是预测事实的主要依据,也是用来不断修正预测数据及预测模型的标准;

(3) 目标函数的构造决定了最终数据的指标要求,也是优化算法中选择最优值的依据。一般数据同化系统中的目标函数用式(1)表示:

$$J(\mathbf{x}(t_0)) = \frac{1}{2} [\mathbf{x}(t_0) - \mathbf{x}^b(t_0)]^T \mathbf{B}^{-1} [\mathbf{x}(t_0) -$$

$$\mathbf{x}^b(t_0)] + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N [\mathbf{H}_i(\mathbf{M}(x_i)) - \mathbf{y}_i^0]^T \mathbf{R}_i^{-1} [\mathbf{H}_i(\mathbf{M}(x_i)) - \mathbf{y}_i^0] \quad (1)$$

式中, $J(\mathbf{x}(t_0))$  是目标函数(泛函); $t_i$  表示时刻; $\mathbf{x}(t_0)$  是状态矢量的初始值,它是被同化或被反演变量组成的列矩阵,下标0表示同化周期开始时的状态; $\mathbf{x}^b(t_0)$  是背景场; $\mathbf{y}_i^0$  是*i*时刻的观测值,它可以是与 $\mathbf{x}$ 具有不同物理意义、不同维数的矢量; $\mathbf{M}$  是模型算子; $\mathbf{H}_i$  被称为观测算子; $\mathbf{R}_i$  是观测误差的协方差矩阵; $\mathbf{B}$  是背景场误差的协方差矩阵<sup>[16-18]</sup>。

(4) 优化算法可以综合观测值和预测值,是核心的同化算法,以优化目标函数为目的,最终通过计算选择出目标函数最优的作为输出数据。

## 2 基于数据同化的图像融合方法的分析

### 2.1 基于数据同化图像融合算法的一般步骤

图像融合本质上是多幅图像的综合,结果图像的像素值是所有源图像的特定像素值的某种加权,这正是数据同化方式的一种。目前将数据同化应用于图像融合的方法的研究都是基于数据同化系统框架实现的,总结现有的研究资料,可以得到其一般算法步骤与流程,如图2所示。

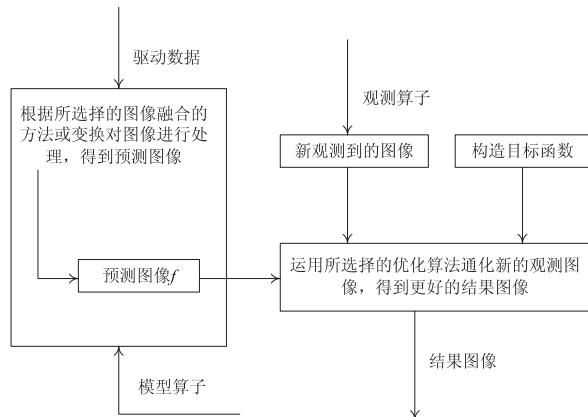


图2 算法基本流程图

(1) 把源图像作为驱动数据,运行模型算子,利用已有的融合方法(离散小波变换、基于对比金字塔方法等)得到预测图像,利用给定算法进行变换、融合;

(2) 运行观测算子,利用已有的融合方法得到观测图像,观测图像的获取和预测图像类似也是要通过给定算法进行变换、融合。观测算子和模型算子使用两种不同的图像融合方法,以使得到的图像兼具两种算子的优点;

(3) 构造数据同化的目标函数,在实际应用中需要考虑各个评价指标之间的相互影响,选取合适的指标权重来构造,它由影响后续处理的多个属性决定;

(4) 利用同化算法来优化目标函数,选取值最优

的图像作为最终结果图像。

2.2 数据同化框架下基于不同优化模型图像融合方法的具体分析

现有的研究均是基于数据同化框架来进行的,各种方法的区别和特点主要体现在算子和模型优化算法选择的差异上,其中优化算法占主导作用。以下具体分析基于不同优化算法与数据同化框架相结合的图像融合方法的特点。

2.2.1 数据同化与遗传算法的结合

遗传算法 (Genetic Algorithm, GA) 流程如图 3 所示。

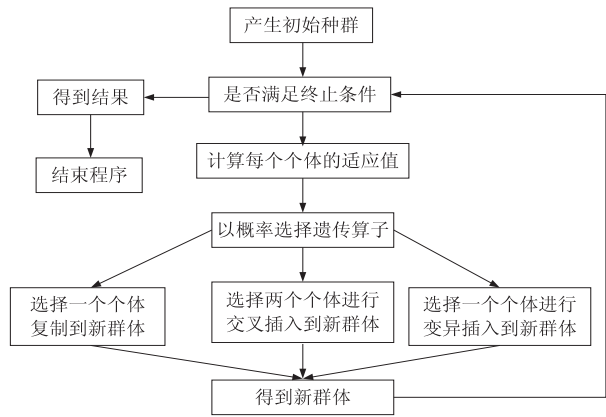


图 3 遗传算法流程图

GA 与数据同化框架相结合主要体现在由模型算子生成的预测图像和由观测算子生成的观测图像会被作为初始父代图像经历初始化、交叉、变异等遗传进化过程后进行“适者生存”的选择和淘汰,选择出适应度最高的个体。文献[19]就是运用 GA 作为优化算法进行基于数据同化的图像融合。

要使遗传算法在基于数据同化的图像融合上得到更好的优化结果,进一步的研究就应该通过改进编码方式、遗传算子、控制方式和遗传策略等因素提升遗传算法本身<sup>[20-22]</sup>或者把遗传算法和其他的智能优化算法例如粒子群、模拟退火等算法相结合应用于同化框架下的图像融合<sup>[23-30]</sup>。

2.2.2 数据同化与粒子群优化算法的结合

粒子群算法 (Particle Swarm Optimization, PSO) 是通过模拟鸟群觅食行为而发展起来的一种基于群体协作的随机搜索算法。PSO 与数据同化系统相结合,把模型算子得到的预测图像和观测算子得到的观测图像作为初始粒子种群并且进行初始化处理,所有的粒子都有一个目标函数决定的适应值,每个粒子还有一个速度决定它们飞翔的方向和距离,然后通过迭代找到最优解。

PSO 和 GA 都是基于种群的仿生智能优化算法,异同如表 1 所示。

表 1 遗传算法和粒子群优化算法对比

算法	相同点	不同点
GA	都属于基于迭代的种群仿生随机化搜索算法; 种群都要经过随机初始化; 对种群中每个个体均要计算适应值,种群使用适应值来评价系统; 两种算法都隐含并行性	通过遗传操作决定搜索
		无记忆能力 共享机制不同,通过染色体共享信息,信息流动均匀、多向 收敛速度较慢
PSO		根据自身速度来搜索 有记忆能力 只有种群最优粒子 $g$ (best) 给出共享信息,信息单向流动 收敛速度较快

从融合结果来看,两种算法都能给出很好的融合结果。表 2 给出了在传统图像融合方法以及 GA 和 PSO 两种不同优化算法基于数据同化的图像融合方法在性能指标上的对比:从对比结果来看,GA 和 PSO 得到的性能指标都比传统图像融合方法得到的指标更优。而 GA 和 PSO 两种方法的对比中,GA 方法得到的熵值更高,所以影像所含的信息更加丰富;而平均梯度和标准方差 PSO 方法得到的值普遍更高,即遗传算法优化得到的融合图像更加清晰,图像反差大,所以分辨率更高一些。综合考虑,以 GA 和 PSO 为同化算法的融合方法融合效果更优。各方法具体性能指标对比如表 2 所示。

但是 PSO 也存在一些问题,正是由于粒子群的快速趋同效应,容易出现陷入局部极值、早熟收敛或停滞现象,PSO 也无法确保收敛;而且 PSO 的性能部分依赖于算法参数,学习因子、惯性权重等参数的设置受经验影响。尽管如此,PSO 仍然是一种很有潜力的优化算法,要想得到更好的研究结果,应该注重研究 PSO 的优化改进策略<sup>[31-32]</sup>以及 PSO 与其他算法结合的混合算法的应用<sup>[32-33]</sup>。

2.2.3 数据同化与差分进化算法的结合

差分进化算法 (DE) 是一种新的进化计算技术,是基于种群差异的启发式随机搜索算法,本质是一种基于实数编码的具有保优思想的贪婪遗传算法。

要改进差分进化算法使之能更好地应用于数据同化框架下的图像融合就要提升它的优化能力,主要方向有两个:一个是改进自身待优化的问题,并以此指导各控制参数的优化配置<sup>[34-36]</sup>;另一个是加强差分优化算法与其他算法的结合,结合不同算法的寻优思想对差分优化算法进行改进<sup>[37-38]</sup>。

2.2.4 数据同化与混合优化算法的结合

上面介绍的作为数据同化框架中的优化算法,总是存在着或多或少的缺点和问题,在改进策略中与其他算法的结合也是重要的研究方向,一些基于上述混



合算法在对最优指标融合图像的选择及优化上体现出了很大的优势。

表 2 不同融合方法的定量分析比较

融合方法		波段	标准方差	平均梯度	熵	SSIM
原始图像融合方法	仅基于多重判据方法	R	60.980 2	27.900 6	7.675 8	0.550 9
		G	51.970 9	23.608 9	7.647 3	0.514 0
		B	43.209 8	11.730 4	7.183 0	0.517 0
	仅 Contourlet 变换方法	R	60.675 7	26.278 3	7.688 6	0.551 9
		G	55.533 7	26.685 0	7.670 2	0.550 5
		B	57.145 4	25.531 9	7.373 8	0.814 3
标准方差作为目标函数	以遗传优化算法作为同化算法的融合方法	R	67.171 5	24.173 7	7.548 9	0.571 4
		G	60.154 4	38.459 3	7.714 6	0.513 0
		B	65.604 9	19.959 7	7.465 8	0.789 2
	以粒子群优化算法作为同化算法的融合方法	R	68.449 5	23.887 9	7.528 2	0.558 0
		G	61.871 5	40.584 1	7.716 0	0.497 0
		B	66.244 1	20.121 7	7.463 7	0.790 9
平均梯度作为目标函数	以遗传优化算法作为同化算法的融合方法	R	64.741 0	38.449 6	7.710 7	0.526 2
		G	60.021 8	39.082 4	7.736 9	0.516 3
		B	55.777 1	28.999 4	7.374 5	0.798 2
	以粒子群优化算法作为同化算法的融合方法	R	65.479 8	39.477 5	7.676 7	0.510 0
		G	61.023 6	39.777 8	7.710 4	0.503 5
		B	56.755 9	30.447 4	7.386 4	0.788 1
熵作为目标函数	以遗传优化算法作为同化算法的融合方法	R	60.652 7	26.826 0	7.703 1	0.554 3
		G	59.539 0	38.141 7	7.744 2	0.516 7
		B	64.954 5	20.551 8	7.505 1	0.798 3
	以粒子群优化算法作为同化算法的融合方法	R	61.637 3	28.203 3	7.766 2	0.587 7
		G	58.807 8	36.385 4	7.768 5	0.523 3
		B	66.052 4	18.538 6	7.577 5	0.737 6

(1) 文献[11]是综合了粒子群优化算法和差分进化算法的混合算法,把预测图像和观测图像经过初始化后分为两个种群,一个种群进行粒子群优化,另一个种群进行差分进化进行优化选择,最终在两种群中挑选最优图像。该混合算法分别从两种优化方法中选取最优,利用两者产生新个体的方式的不同,保留了个体的差异性,有效防止了粒子群优化算法和差分进化算法陷入局部最优。文献[37-38]也介绍了一些具体的粒子群优化算法和差分进化算法结合的混合算法。

(2) 文献[16]则是将遗传算法与模拟退火算法相结合,模拟退火算法来源于固体退火粒子渐趋有序的原理,在遗传算法的框架下加入了退火条件的限制,随着进化进行,温控参数降低,较差个体被淘汰,加快了收敛的速度。在保持优秀个体进化稳定的同时,提高了进化速度,避免了单种群进化过程中的早熟收敛现象。文献[33]也给出了遗传退火算法的一些具体方法以及在其他问题上的应用。

(3) 文献[12]利用遗传算法与粒子群优化算法相结合的遗传粒子群算法来优化目标函数。在对预测图像和观测图像进行粒子群算法的更新极值操作后,把

适应度值排在后面的图像再进行遗传算法的交叉、变异,最终进行选优、迭代。该算法综合了粒子群优化算法和遗传算法的优点,得到的融合结果比二者单独作用的效果要好。现在也有一些算法研究是围绕将两种方法通过串联、并联或者其他方式混合起来,实验得到的优化结果也是比较令人满意的。

2.3 基于数据同化的图像融合方法的优势及应用

针对以往图像融合方法存在的缺点,基于数据同化的图像融合方法能利用优化方法的优势结合已有图像融合的优点,并根据目标函数的设定,得到的图像不仅能根据后续处理进行自适应调整,而且能选择算子的优点,对虚假信息进行筛选,这就是基于数据同化系统和优化算法得到的图像融合方法的优点。从图像对比和指标分析能更看出该方法的确能给出更好的融合结果。

现有的基于数据同化的图像融合方法的研究主要应用在三个方面:全色图像和多光谱图像的融合、红外图像和可见光图像的融合、多聚焦图像的融合。这些对于航空、航天、军事、卫星等领域遥感图像的分析 and 处理,计算机视觉以及医学图像处理方面的研究有很大的帮助,相信基于数据同化的图像融合的深入研究能给这些领域的研究带来更新的成果和突破。

3 存在的问题及进一步研究方向的讨论

如果说以往的图像融合方法参数选取具有极大的主观性,那么基于数据同化的图像融合方法在目标函数的构造,算子和优化算法的选取方面也具有很广泛的选择范围。这些因素的恰当选择对于融合的结果图像往往具有很大的影响。

3.1 算子和目标函数的选择确定

从研究资料中可以看出,实验基本都是用极端的指标作为目标函数,所以得到的图像视觉效果和评价参数都有明显改善,但是实际融合时要考虑到图像融合的后继使用以及各指标的相互关系依实际情况而定。数据同化系统是以优化目标函数为目的来进行数据同化的,所以目标函数的选择、各评价指标权重的选取对于整个同化过程以及融合结果有着很重要的影响。

此外,选取合适的融合方法作为数据同化系统的模型算子和观测算子也是一个难点和重点。合适的模型算子和预测算子有利于获取好的预测数据和观测数据,而好的预测数据和观测数据有助于最终合适数据的获取。而且,对于不同图像的融合,选用怎样的算子才能充分利用已有融合技术得到更符合要求的图像。

3.2 优化算法的改进和选择

从基于数据同化的图像融合方法具体分析中可以

看出,优化算法对整个数据同化系统和图像融合的结果有着十分重要的影响,可以说是同化系统的核心。通过对上述具体优化算法的分析,可以看出这些优化算法多是基于群体的仿生智能优化算法,这样才能把预测图像和观测图像作为一个群体进行优化选择。所以可以从基于群体的优化算法着手,进一步的研究可以包括以下几个方面:

(1)基于种群的思想将已有的优化算法进行混合,建立适当的模式将算法进行串、并或者嵌套等方式的混合,从而综合已有优化算法的优势。除了上面已有的混合算法,目前一些单独基于混合算法的优化问题已经得到一些研究,包括模拟退火和差分进化算法的结合<sup>[39]</sup>,蚁群算法和遗传算法,蚁群算法和粒子群算法等的优化,如何将这些先进的智能优化算法与数据同化系统结合更好地应用于图像融合方面将成为改进融合算法的研究重点。

(2)数据同化应该与更多群体智能优化算法相结合,比如基于人工免疫的优化算法<sup>[40]</sup>、基于神经网络的优化算法、免疫克隆等,只有与更多优化模型相结合才能找到效果更好、更适合融入到数据同化框架中的同化算法。

### 3.3 同化模型的改进

上述改进方法均是从数据同化模型的具体组成部分入手,通过改进一个模块的性能,使整个框架性能得到提升从而得到更好的图像融合结果。而对整个同化模型的改进,能够从本质上使图像的结合获得更有效的提升与改进。文中所讨论的同化模型属于数据同化中最经典最常用的插入观测同化法。而数据同化的方法本身还包括滤波同化、伴随方程同化、最大概率同化等等。可以将这些不同的同化方法结合图像处理创造出新的数据同化模型,得到更适合的融合框架。这也是从模型方面的宏观角度改进基于数据同化的图像融合方法的一种方式。

## 4 结束语

目前基于数据同化的图像融合方法的研究是基于数据同化系统框架,结合传统图像融合算法,以优化模型为基础建立同化算法进行图像融合的一种方法。该方法至今还没有建立起完善的理论体系,对众多实验方法没有进行很好的归纳整理,还有大量的工作迫切需要完成。与此同时,如何选择更适合的目标函数、算子和优化算法的不断改进将成为这一领域的发展趋势。随着数据同化、信息同化理论的不完善和优化方法的不断发展,以及各种新理论的应用和改进,相信基于数据同化的图像融合方法会不断地完善和成熟。

### 参考文献:

- [1] 王跃山. 数据同化—它的缘起、含义和主要方法[J]. 海洋预报, 1999, 16(1): 11-20.
- [2] 胡 钢, 刘 哲, 徐小平, 等. 像素级图像融合技术的研究与进展[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(3): 650-655.
- [3] 潘 瑜, 孙权森, 夏德深. 基于 PCA 分解的图像融合框架[J]. 计算机工程, 2011, 37(13): 210-212.
- [4] 胡 冰, 周海芳, 王攀峰, 等. 遥感图像 PCA 融合的并行算法研究与实现[J]. 微电子学与计算机, 2006, 23(10): 153-155.
- [5] 玉振明, 高 飞. 基于金字塔方法的图像融合原理及性能评价[J]. 计算机应用研究, 2004, 21(10): 128-130.
- [6] 陈 浩, 王延杰. 基于拉普拉斯金字塔变换的图像融合算法研究[J]. 激光与红外, 2009, 39(4): 439-442.
- [7] 赵瑞珍, 徐 龙, 宋国乡. 基于小波变换的图像多尺度数据融合[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2002, 14(4): 361-364.
- [8] 李晓春, 陈 京. 基于小波变换的图像融合算法研究[J]. 遥感技术与应用, 2003, 18(1): 27-30.
- [9] 倪 伟, 郭宝龙, 杨 镏. 图像多尺度几何分析新进展: Contourlet[J]. 计算机科学, 2006, 33(2): 234-236.
- [10] 白 蕊, 杨万海, 张艳妮. 基于 Contourlet 变换的遥感图像融合[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(6): 1173-1177.
- [11] 陈荣元, 谢 伟, 王四春, 等. 数据同化框架下红外与可见光图像的可控融合[J]. 光电子·激光, 2010, 21(4): 610-613.
- [12] 付 炜, 裴 欢, 廖晓玉, 等. 多源遥感图像融合的数据同化算法[J]. 自动化学报, 2011, 37(3): 309-315.
- [13] 陈荣元, 张飞艳, 张 斌, 等. 基于数据同化和粒子群优化算法的遥感影像融合[J]. 电子与信息学报, 2009, 31(10): 2509-2513.
- [14] 李 新, 黄春林. 数据同化—一种集成多源地理空间数据的新思路[J]. 科技导报, 2004(12): 13-16.
- [15] 李 新, 小池俊雄, 程国栋. 一个基于模拟退火法的陆面数据同化算法[J]. 地球科学进展, 2003, 18(4): 632-636.
- [16] 陈荣元, 张飞艳, 李 爽, 等. 基于数据同化和遗传退火的多聚焦图像融合[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2009, 21(8): 1134-1137.
- [17] 陈荣元, 林立宇, 王四春, 等. 数据同化框架下基于差分进化的遥感图像融合[J]. 自动化学报, 2010, 36(3): 392-398.
- [18] 石良武, 林立宇, 王四春, 等. 基于数据同化和差分进化算法的图像融合[J]. 光子学报, 2010, 39(9): 1688-1692.
- [19] 陈荣元, 刘国英, 王雷光, 等. 基于数据同化的全色和多光谱遥感影像融合[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2009, 34(8): 919-923.
- [20] 王 晶. 遗传算法的改进[J/OL]. 2006-10-13. <http://www.paper.edu.cn>.
- [21] 华 刚, 郑南宁, 薛建儒. 基于改进遗传算法的边缘检测阈值自动选取及其应用[J]. 小型微型计算机系统, 2002, 23

求进程;若存在,则当下正在运行的节点总是在使用完临界资源以后马上发送令牌给需要的节点。除此之外,新算法中,以优先级高的节点先得到执行,能提高系统的性能和效率。

## 5 结束语

文中对传统的分布式互斥算法进行了简要分析,并针对其不足,做了一些改进与优化,提出了一种基于令牌传递的互斥算法,利用选举算法和优先级,使得进程间的通信效率大大提高。

### 参考文献:

- [1] 余详宣,崔国华,邹海明. 计算机算法基础[M]. 武汉:华中科技大学出版社,1998.
- [2] 李旭芳. 分布式系统中进程的同步与互斥算法讨论[J]. 计算机工程与设计,2004,25(6):935-937.
- [3] 尹俊文,邹鹏,王光芳. 分布式操作系统[M]. 长沙:国防科技大学出版社,2000.
- [4] Hanson B. Operating system principles[M]. [s. l.]:Prentice Hall,1973.
- [5] Milenkovic M. Operating systems:concepts and design[M]. [s. l.]:McGraw-Hill Publishing Company,1987.
- [6] Raynal M. Algorithm for mutual exclusion[M]. [s. l.]:MIT Press,1986.

(上接第 73 页)

- (3):318-321.
- [22] 段玉倩,贺家李. 遗传算法及其改进[J]. 电力系统及其自动化学报,1998,10(1):39-52.
- [23] 时小虎,韩世迁,闵克学,等. 基于遗传算法和粒子群优化的混合算法[D/OL]. 2006-10-27. [http://www. paper. edu. cn](http://www.paper.edu.cn).
- [24] 李会玲,汪振华,王基维. 基于模拟退火的遗传优化算法在 TSP 问题中的应用[J]. 热处理技术与装备,2007,28(6):51-55.
- [25] 郝清民. 遗传退火算法及其应用[J/OL]. 2011-04-11. [http://web. cenet. org. cn/upfile/79408. pdf](http://web.cenet.org.cn/upfile/79408.pdf).
- [26] 丁建立,陈增强,袁著祉. 遗传算法与蚂蚁算法的融合[J]. 计算机研究与发展,2003,40(9):1351-1356.
- [27] 伍爱华,李智勇. 蚁群遗传算法的多目标优化[J]. 计算机工程,2008,34(8):200-202.
- [28] 杨亚,王铮,张素兰,等. 基于小波变换的多聚焦图像融合[J]. 计算机技术与发展,2010,20(3):56-58.
- [29] 冯太平,闫仁武. 基于非抽样 Contourlet 变换的多聚焦图像融合算法[J]. 计算机技术与发展,2012,22(2):57-60.
- [30] 魏世超,段先华,夏加星. 基于 Sobel 算子和局部能量的图像融合新算法[J]. 计算机技术与发展,2012,22(4):61-64.
- [31] 杨维,李歧强. 粒子群优化算法综述[J]. 中国工程科学,

- [7] Lamport L. Time clocks and the ordering of the events in distributed system[J]. Communications of the ACM,1978,21(7):558-565.
- [8] Maekawa M. A sqrt(n) algorithm for mutual exclusion in decentralized systems[J]. ACM Transactions on Computer Systems,1985,3(2):145-159.
- [9] Fu A W. Delay-optimal quorum consensus for distributed systems[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems,1997,8(1):59-69.
- [10] Fu A W, Wong Y S, Wong M H. Diamond quorum consensus for high capacity and efficiency in a replicated database system[J]. Distributed and Parallel Database,2000,8(4):471-492.
- [11] 鄢勇. 基于 Token 追踪的分布式互斥算法[J]. 计算机学报,1993,16(9):648-654.
- [12] 胡吉明,毕伟. 分布式互斥算法的研究与改进[J]. 计算机与现代化,2006(6):14-17.
- [13] Walter J E, Cao G, Mohanty M. A k-mutual extension algorithm for Ad-Hoc wireless networks[C]//Proceedings of the first annual workshop on principles of mobile computing. [s. l.]:[s. n.],2001:178-181.
- [14] 夏晨曦,邱毓兰,彭德纯. 一种广域网中的分布式互斥算法[J]. 计算机工程,2000,26(3):59-60.
- [15] 李云鹤. 一种基于令牌的新的互斥算法分析与设计[J]. 计算机科学,2008,35(4):119-121.
- 2004,6(5):87-94.
- [32] 范娜,云庆夏. 粒子群优化算法及其应用[J]. 信息技术,2006(1):53-56.
- [33] 马磊,王杰群. 蚁群粒子群混合算法研究[J]. 电脑知识与技术,2010,6(23):6573-6576.
- [34] 杨启文,蔡亮,薛云灿. 差分进化算法综述[J]. 模式识别与人工智能,2008,21(4):506-513.
- [35] 戈剑武,祁荣宾,钱锋,等. 一种改进的自适应差分进化算法[J]. 华东理工大学:自然科学版,2009,35(4):600-605.
- [36] 肖术骏,朱雪峰. 一种改进的快速高效的差分进化算法[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2009,32(11):1700-1703.
- [37] 杨妍,陈如清,俞金寿. 差分进化粒子群混合优化算法的研究与应用[J]. 计算机工程与应用,2010,46(25):238-241.
- [38] 栾丽君,谭立静,牛奔. 一种基于粒子群优化算法和差分进化算法的新型混合全局优化算法[J]. 信息与控制,2007,36(6):708-714.
- [39] 褚国娟,马春丽,宁必锋. 基于差分及模拟退火的混合粒子群算法[J]. 计算机与现代化,2010(5):19-20.
- [40] 郑德玲,梁瑞鑫,付冬梅,等. 人工免疫系统及人工免疫遗传算法在优化中的应用[J]. 北京科技大学学报,2003,25(3):284-287.

# 基于数据同化的图像融合方法研究

作者：[杨思燕](#)，[陈为胜](#)，[YANG Si-yan](#)，[CHEN Wei-sheng](#)  
作者单位：[杨思燕, YANG Si-yan\(陕西广播电视大学 计算机与信息管理学系, 陕西 西安, 710119\)](#)，[陈为胜, CHEN Wei-sheng\(西安电子科技大学 数学与统计学院, 陕西 西安, 710071\)](#)  
刊名：[计算机技术与发展](#)  
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)  
年，卷(期)：2014(11)

本文链接：[http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjfz201411018.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201411018.aspx)