

多源监测信息融合仿生复眼型系统模式 及感知计算机理

徐立中^{1,2}, 石爱业^{1,2}, 黄凤辰^{1,2}, 马贞立¹

(1. 河海大学 计算机及信息工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学 通信与信息系统工程研究所, 江苏 南京 210098)

摘要: 借鉴昆虫复眼获取与处理信息的机理和过程来构造多源、多尺度监测信息融合仿生处理系统模式。在水资源水环境的空中、地面多传感器时空定量监测应用中, 多种卫星遥感传感器和地面监测传感器被设计“集成”在一个虚拟的仿生复眼平台上, 通过模仿蝇类昆虫视觉信息获取和生物神经网络感知与计算的机理, 实现大场景 (LF)、小场景 (SF) 的协同监测和专题信息融合与决策。提出了空中、地面多传感器时空定量信息获取与处理的仿蝇复眼型信息融合系统模式, 设计了基于仿蝇复眼感知与计算机理的多源信息融合工程模型和算法, 包括虚拟复眼设计, 虚拟复眼图像的预处理模型, LF系统和 SF系统的感知与计算机理以及复眼图像超分辨率重构算法。仿真实验中验证了空中、地面多源多尺度监测信息融合的仿生复眼型系统模式、LF和 SF系统计算模型以及复眼图像超分辨率重构的可行性与合理性。

关键词: 信息融合; 遥感图像处理; 仿生复眼; 水环境监测

中图分类号: X87 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-4785 (2008) 04-0328-08

A perceptual and computational mechanism for bionic compound eye systems with multi-source information fusion

XU Li-zhong^{1,2}, SHI A-i-ye^{1,2}, HUANG Feng-chen^{1,2}, MA Zhen-li¹

(1. College of Computer and Information Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Institute of Communication and Information System Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: The compound eyes of flying insects are highly efficient at processing received information. The authors initiated this action when developing a bionic compound eye system to monitor water resources by fusing quantitative space-time information obtained from many sensors in the air and on the ground. This virtual bionic compound eye platform integrated multiple satellite remote sensors and ground monitoring sensors. By imitating the information acquisition mode of flies and the perceptual and computational mechanisms of their biological neural networks, it is possible to perform synergistic monitoring of large field (LF) and small field (SF) data sufficient for thematic information fusion and decision making. The proposed mathematical model and algorithm were designed on the basis of perceptual and computational mechanisms of bionic compound eyes. Work covered in the paper includes: design of virtual compound eyes, a mathematical model for virtual compound eye images, perception and computation mechanism of LF and SF systems, and super-resolution reconstruction of virtual compound eye images. The computation model of the LF and SF system and the super-resolution of virtual compound eye images were simulated in a series of experiments which proved that the proposed model is effective.

Keywords: information fusion; processing of remotely sensed images; bionic compound eye; water environment monitoring

水资源水环境空中 (遥感)、地面多传感器动态地、实时地监测, 是以广域计算机通信网络、数据库为基础的多源、多尺度传感器数据及信息融合系统。

这要求多个 (种、异质) 传感器在不同的地理空间位置和时间标度上对环境进行观测, 将多传感器获得的信息进行融合与集成, 以实现对环境状况实时、动态、准确地反映。

在这样的时空定量信息获取与处理过程中, 涉及对不同类型遥感实测数据、地面传感器遥测数据、知识库以及历史数据库数据、地理和 GPS 位置信息

收稿日期: 2007-11-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60774092); 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目 (20070294027); 江苏省高新技术研究重大项目 (BG2006003)。

通信作者: 徐立中, E-mail: lzhu@hhu.edu.cn

等数据的处理,这是一个复杂、非结构化的过程。另外,遥感数据易受环境及水体本身相互作用的影响,易产生局部数据缺乏或错误。地面传感器的性能可能降低或失效,使得多源、多尺度监测数据及其之间具有相当的复杂性、不确定性和相关性。在处理过程中的各个不同层次可能出现不确定性、非结构化问题以及建模困难等^[1]。

迄今为止,多源信息融合的绝大部分工作都是针对特定应用领域开展的。目前国内外,结合对地观测应用领域的多源信息融合理论和技术取得的成果很多。但是,这些领域的应用成果与水资源水环境多源监测信息融合应用的情况类似,地面传感器之间、空间与地面传感器之间,都没有有效地解决信息的关联和互补;尚未形成较成熟的不同时空尺度数据、特征、证据和策略的多源信息融合理论框架,也没有建立反演精度高且普遍有效的融合模型与算法;在系统级上所开展的信息获取、融合系统模式(或称系统模型、体系结构)以及层次划分、算法(库)选择及调度策略的研究鲜见报道,也很不成熟,融合系统的容错性或稳健性远未解决^[2-3]。

与当前多源信息融合基本理论方法研究存在的问题和最新进展一样,面向对地观测领域信息获取与处理的应用,信息融合系统模式共同的中心思想是在信息融合过程中进行多级处理。

国内外现有的信息融合系统模型大致可以分为两大类:1) 功能型系统模型,主要根据节点顺序构建;2) 数据型系统模型,主要根据数据提取加以构建。比较典型的功能型系统模型主要有 UK 情报环和 Boyd 控制回路。典型的数据型系统模型则有 JDL 模型。近年来又发展了瀑布模型、Dasarathy 模型和混合模型等^[2]。

面向水资源水环境监测这样复杂应用背景的信息融合,在系统级上,延用类似于美国 JDL 等模型的典型数据型系统模式对其加以修改,或者试图通过多源异类信息在“数学意义”上的统一表述,以解决多源、多尺度信息(数据、特征、证据和策略)的融合问题是相当困难的^[1,3-4]。

考虑到自然界蝇类重叠型复眼有许多小眼,每个小眼都独立成像,并把受不同强度刺激得到的图像经过生物神经网络处理形成一个完整的视像。受

蝇类复眼的这种能够同时接收多视角信息的机理和生物神经网络处理复杂感知与计算能力的启发,提出并设计了基于仿蝇复眼型信息融合系统模式。该模式借鉴自然界昆虫复眼获取和处理信息的过程和机理,在信息融合过程中进行多级处理,将空中(遥感)、地面多传感器获取的一维或多维信息按照某种规则映射为若干个虚拟的“小眼图像”,并构造仿蝇复眼的感知算法,试图跳出传统的研究思路,为进一步深入解决水资源水环境多源监测信息融合处理存在的难点提供了新的策略。

1 蝇视觉系统的生理结构

根据米勒的昆虫视觉图像拼接理论,复眼是由许多小眼紧密排列而成。复眼主要有并列型复眼和重叠型复眼两大类,前者复眼的每只小眼都独立形成整个目标的部分像,整个复眼形成目标的“镶嵌像”;而后的每个小眼形成的像是目标的重叠像。并列型复眼形成的图像分辨率高于重叠型复眼,但是重叠型复眼具有较高的光能利用率和灵敏度。

苍蝇的 2 只复眼如图 1 所示,其对应的纵向截面图如图 2 所示。蝇眼是由许多六角形结构的小眼组成,蝇的每只复眼大约有 3 000 ~ 3 200 只小眼。每只小眼自成体系,都有由角膜和晶锥组成的成像系统,有由对光敏感的视觉细胞构成的视网膜,还有通向脑的视神经,每只小眼都能单独目视。

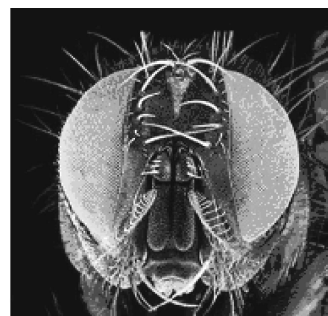


图 1 蝇复眼

Fig 1 The compound eyes of a fly

图 2 中, A 为重叠孔径, c 为角膜透镜, P 为起屏蔽作用的色素细胞, cc 为晶锥, cz 为空区, rh 为感杆束, f 为焦距。角膜和晶锥组成屈光器,可以将光聚焦到感光器上,其本质相当于 1 个微透镜。感光器由 8 个小网膜细胞组成(感杆束),并围绕着小眼形成

一束圆柱体,即小网膜,每个小网膜细胞伸出一根神经纤维与脑的视觉中枢相连.其中内部的空区(clean zone)消除了小眼之间的光隔离,可以使得该类型的复眼具有较大的通光孔径,从而可以改善复眼的光子捕获能力.隔光器位于小眼之间,其主要由主色素细胞和附色素细胞组成,其色素颗粒能够随着外界环境的变化而移动.隔光器能够控制和调节进入小眼内的光线.外界信息进入复眼的每只小眼后,传递到复眼和脑之间的视觉中枢,并经过加工处理后将指令传递给运动器官^[5].

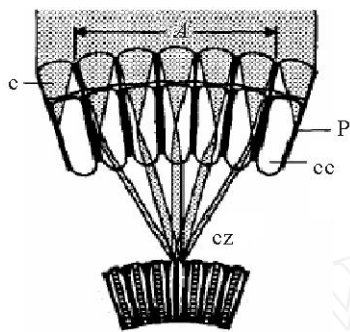


图2 重叠型复眼纵向截面图

Fig 2 Cross section of superposition compound eye

2 仿蝇复眼型融合层次与系统模式

空中(遥感)、地面多传感器时空定量信息获取与处理是一个具有现代高性能、多层次、复杂的过程.多源信息融合仿生复眼系统拟将其划分为2个研究层次,如图3所示.即:1)虚拟“小眼图像”的生成(卫星平台、相应波段以及传感器光谱特性的设计选择和分配);2)多源信息仿生复眼融合处理(包括遥感图像数据融合和空、地数据融合).

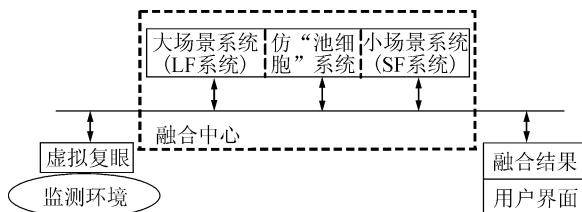


图3 仿蝇复眼的信息融合层次与系统模式

Fig 3 Information fusion level and system mode of bio-inspired compound eye system

第1层次实现“复眼图像(监测数据)实时、动态地获取和映射处理,为第2个层次提供输入信息.

第2个层次实现(虚拟的)复眼信息融合处理.第2个层次包括:1)信息预处理,遥感“小眼”图像的几何、大气校正以及地面“小眼”与遥感“小眼”图像配准;2)基于大场景(large-field, LF)、小场景(small field, SF)系统的遥感“复眼”反演专题信息,以提高反演精度;3)LF和SF系统协同地提取专题信息,利用不同空间分辨率和光谱分辨率遥感“小眼”的优势互补,实现较高精度局部环境区域的专题信息提取和对感兴趣的水体组分(叶绿素、悬浮物等)或大气组分等的监测;4)仿“池细胞”系统管理“复眼”信息处理过程,及协调LF和SF系统算法的分类应用.蝇生理上的LF和SF系统中各自有相应的池细胞,可以将它们的池细胞构建成一个逻辑上的仿池细胞工程模型,以便突出其协调和管理LF、SF的功能.

3 信息融合仿蝇复眼系统的感知与计算机理

3.1 虚拟复眼设计

虚拟小眼的选择和设计分配应根据领域应用需求而定.将卫星搭载的成像仪器看作复眼成像系统,相应获取的每个波段的图像在逻辑概念上可以映射为虚拟小眼图像.

下面以Landsat-5卫星的TM遥感数据和TERRA卫星的MODIS数据为例阐述虚拟复眼的设计.

Landsat-5卫星的专题制图仪TM共有100个,分7个波段,采用带通滤光片分光,滤光片紧贴于探测器阵列的前面.其中第1~4个波段用硅探测器.此处,将滤光片和相应的探测器阵列在逻辑上看成一个虚拟复眼成像系统.以水环境监测为例,考虑到昆虫复眼的光谱反映范围,选择TM1~TM3的数据作为“小眼”图像,3个小眼的光谱反应波长分别为450~520 nm、520~600 nm、630~690 nm,对应的小眼图像空间分辨率为30 m.

TERRA卫星上搭载有MODIS传感器,它具有从可见光到热红外的36个波段的扫描成像辐射计,分布在0.4~14 μm电磁波谱范围内,扫描宽度为2330 km.波段1~2的空间分辨率为250 m,波段3~7的空间分辨率为500 m,波段8~36的空间分辨率为1000 m,波段设置适合于监测Ⅰ类水体.MODIS

具有较高的时间分辨率(一天 2 次成像)和辐射分辨率,并且包括多达 36 个波段的光谱数据.以水环境监测为例,MODIS 是内陆较大湖泊水质遥感监测最有潜力的遥感数据源之一.选择 MODIS 传感器作为虚拟复眼成像系统,选择其成像的 1、3、4 这 3 个波段图像作为“小眼”图像.这 3 个波段的波谱分别为 620 ~ 670 nm、459 ~ 479 nm、545 ~ 565 nm,其中 1 波段的“小眼”图像空间分辨率为 250 m,3 波段与 4 波段的“小眼”图像空间分辨率为 500 m.

虚拟的复眼系统共构建 3 种类型的仿复眼,第 1 类复眼由“小眼图像”TM 数据构成,其每个“复眼”由 3 个较高空间分辨率的“小眼图像”TM 数据构建;第 2 类复眼由“小眼图像”MODIS 数据构成,在某一时刻,先由较低空间分辨率的 MODIS“小眼图像”构建为一个“复眼”,且这样的每个复眼都包含 3 个“小眼图像”;第 3 类虚拟复眼由地面监测传感器构成,其监测数据作为复眼图像数据.

3.2 复眼图像的预处理

对于仿蝇复眼系统中的虚拟复眼遥感图像,在不同程度上与地物的辐射能量或亮度分布有差异,即存在着畸变和降质.其中遥感图像的降质主要可分为两大类,即遥感图像的辐射失真和几何畸变.虚拟的复眼图像的预处理就是使处理后的图像能够逼近原始景物,故所处理的图像必须经过几何校正、辐射校正以及噪声抑制处理^[6].

在仿蝇复眼系统中,往往还需要对不同时刻、不同传感器获得的多种遥感数据进行综合研究.这就要求不同来源的图像互相配准,即要求统一的物的影像在不同图像中的位置相互重叠.配准和几何校正一样,包括 2 步:1)确定图像中相应的控制点对;2)将待配准的图像中的一幅作为参考图像,另一幅作为配准图像,进而确定参考图像和配准图像之间的对应关系.

3.3 LF 系统和 SF 系统的感知与计算机理

蝇具有卓越的视觉系统和飞行控制系统.它是由 2 个独立的并行通道来完成的,即大场景(LF)系统和小场景(SF)系统.小场景系统在视网膜图像相对高的振动频率下对小的目标产生响应,响应过程中的尖峰在图形背景分辨行为中意味着目标被检测,从而实现对目标物体的分辨和凝视.而大场景系

统在视网膜图像的低频偏移情况下产生扭矩响应,所产生的扭矩用于消除在飞行过程中因空气扰动、自身飞行动力失衡等原因所形成的意外偏差,稳定其飞行路线.以 Landsat-7 和 TERRA 这两类卫星遥感数据的融合为例,考虑到在同一坐标系下,Landsat-7 卫星在相对低的时间频率下对地观测得到具有较高空间分辨率(15/30/60 m)的 TM 影像数据,和 Terra 卫星在相对高的时间频率下观测得到具有较低空间分辨率(250/500/1 000 m)的 MODIS 影像数据.通过 Landsat-7 或者 TERRA 以及后续的算法可以单独形成 LF 大场景的宏观监测,而 Landsat-7 和 Terra 协同感知的 SF 小场景监测,有可能同时实现局部区域对地观测的准实时、粗空间分辨率的宏观监测和较高空间分辨率的精细监测,从而更有利于动态监测和提高遥感反演精度.

生物学家在理论分析、行为实验和电生理细胞记录的基础上,提出了“池细胞”的概念,在蝇复眼的 LF 和 SF 系统中分别有“池细胞”用来控制和管理各自的输出.其中,LF 系统中“池细胞”具有饱和性质,它分流抑制每个运动检测器的输出;而 SF 系统中有 2 类具有方向选择性的复眼“池细胞”,它们对于顺时针与逆时针方向的运动具有不同的敏感性,且受到对侧眼信息的抑制.受“池细胞”功能的启发,通过模仿 LF 系统和 SF 系统的“池细胞”机理,有可能实现对不同层次的模型或算法进行集成、调度和分类应用.

3.3.1 LF 系统和 SF 系统的算法

LF 系统由各遥感卫星独立监测来完成,其中高空空间分辨率的卫星提供较精细的大场景监测.利用虚拟遥感复眼图像间的空间分辨率、光谱分辨率和时间分辨率的优势互补,可以较好地宏观上获取相应的环境专题信息.仿蝇复眼的 LF 系统由仿池细胞来提供调度,如当某一卫星数据缺损时,可调用仿蝇复眼遥感系统中的其他种类的卫星来监测;如果所有的数据都失效,可以启动预警机制等.

SF 系统则对监测总视场中的感兴趣区域进行监测,是通过 N 个虚拟复眼共同的“追踪”与“凝视”以提取所研究的感兴趣区域的专题信息.具体实现时可采用相应的图像分割算法将各虚拟复眼的感兴趣区域提取出来,然后再采用适当的融合算子整

合各感兴趣的监测信息. 仿蝇复眼的 SF 系统也有相应的仿池细胞来提供调度, 其调度能与 LF 系统中的仿池细胞类似.

仿蝇复眼遥感系统中的 LF 系统和 SF 系统协同监测, 既可以整体上获取相应的环境专题信息, 也可以对局部区域获取相应的环境专题信息, 然后再采用分类前变化信息提取法对监测区域的水、气体的组分浓度等进行变化监测. 与此同时, 在积累多时相遥感监测结果的基础上, 再对监测区域的组分变异特征进行分析. 其中 LF 系统、SF 系统的数据处理过程由池细胞来加以管理和控制, 以协调 LF、SF 系统的输出.

LF 系统算法流程为

1) 针对不同的传感器平台, 进行虚拟复眼的设计, 复眼数目由遥感平台、地面传感器的数目确定.

2) 不失一般性, 设仿生复眼信息融合系统共有 n 个虚拟遥感复眼, 1 个虚拟地面传感器复眼.

3) LF 系统监测的输出共包含 m 个环境专题信息.

4) 设第 i 个虚拟遥感复眼共有 E_i 个虚拟小眼, 对应的图像数据为 $I(E_i)$. 则第 i 个虚拟遥感复眼的环境专题信息为 $w_j = f(I(E_i), g)$, $1 \leq i \leq n$, $1 \leq j \leq m$, 式中 f 表示采用的环境专题信息的反演函数, w_j 表示 LF 系统输出的环境专题信息, g 表示与 $I(E_i)$ 同期的虚拟地面监测复眼数据.

5) 针对 n 个 LF 系统的监测结果, 进行分析比较.

6) 在实现 LF 系统监测时, 启动“仿池细胞系统”进行 LF 系统监测的管理与调度; 如果所有虚拟复眼数据缺失, 启动预警; 如果有某一虚拟复眼数据缺失, 可调用其他虚拟复眼数据来进行补充监测.

SF 系统算法流程为

1) 选择虚拟复眼图像数据 $I(E_i)$ 以及虚拟地面传感器复眼数据;

2) 依据 LF 系统的监测结果 w_i , 选择相应的图像分割算法, 提取所研究环境的感兴趣区域 S_i ;

3) 融合各虚拟复眼 S_i 的监测信息;

4) 在实现 SF 系统监测时, 启动“仿池细胞系统”进行 SF 系统监测的管理与调度.

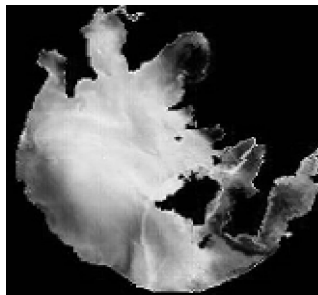
3.3.2 LF 和 SF 系统仿真实验及分析

以 TERRA 卫星和 Landsat 卫星组成的仿蝇复眼信息融合系统为例来仿真 LF、SF 系统的算法. 该系统共有 2 个虚拟复眼. TERRA 卫星的 MODIS 数据以及 Landsat 卫星的 TM 数据来完成 LF、SF 系统监测, 监测区域为太湖, 监测的组分为叶绿素浓度分布.

图 4 是由 TERRA 卫星 (提供 MODIS 数据) 和 Landsat 卫星 (提供 TM 数据) 组成的 LF、SF 系统对太湖水体叶绿素浓度分布监测结果.

MODIS 遥感数据获取的时间为 2003 年 10 月 27 日, 选用的波段为 1~2 波段, 其空间分辨率为 250 m, 211 波段组合的数据见图 4(a) 所示. 使用 1 波段和 2 波段的反射率, 建立相关模型, 得到 LF 系统的监测结果 (叶绿素浓度分布), 如图 4(b) 所示. TM 数据的获取时间为 2003 年 10 月 28 日, 所使用的遥感波段为 1~4 波段, 空间分辨率为 30 m, 432 波段组合的数据见图 4(c) 所示. 使用波段 1~4 的反射率, 建立回归模型, 得到 LF 系统的监测结果 (叶绿素浓度分布) 如图 4(d) 所示.

图 4 中, (浅) 黑色表示叶绿素浓度高 ($155 \mu\text{g/L}$), (浅) 灰色表示叶绿素浓度较高 ($56 \mu\text{g/L}$), 灰白色表示叶绿素浓度较低 ($56 \mu\text{g/L}$). SF 系统监测仅选用一个虚拟复眼数据, 即采用和图 4(a) 相同的数据源, 选用太湖的梅梁湾地区作为感兴趣区域, 在 ERDAS 9.0 遥感软件中, 采用图像分割方法将该区域提取出来, 该区域的叶绿素浓度分布见图 4(e) 所示 (经过插值放大).



(a) 太湖的MODIS数据
(211波段组合)



(b) 依据LF系统算法, 由图4(a)
获取的太湖叶绿素浓度分布

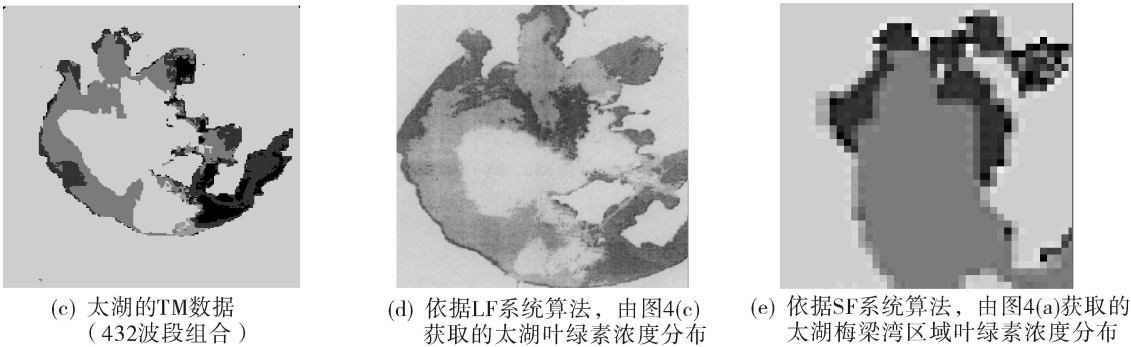


图 4 LF、SF系统对太湖水体叶绿素浓度分布监测结果

Fig 4 Chl- concentration distribution of Tai Lake using LF and SF system

由图 4 (b)和图 4 (d)可见,MOD IS数据和 TM 数据所形成的 LF系统监测结果都表明太湖的周边地区的叶绿素浓度较高,特别是东北部和西南部叶绿素浓度更高,而太湖的中部、南部和东部局部区域的叶绿素浓度较低.由此验证 LF系统可对整个太湖区域的叶绿素浓度进行宏观上的监测,并可以提供 250 m (MOD IS数据提供)和 30 m (TM 数据提供) 2种空间分辨率的叶绿素浓度分布图.采用的虚拟复眼数目越多,则可得到更多不同空间分辨率的叶绿素浓度分布图.采用多个虚拟复眼,可以在某一虚拟复眼数据缺失时,还能够对观测区域实行大场景监测.由图 4 (e)可知,单一 MOD IS数据形成的 SF系统,可对太湖的梅梁湾区这一特定区域的叶绿素浓度进行有效的监测,如果再融合 TM 虚拟复眼数据对该区域的监测,则可以更有效地进行水质监测.

3 4 复眼图像超分辨率重构算法与仿真实验

对于以卫星遥感平台为基础的仿蝇复眼系统,会受到探测器的辐射分辨率的影响.为了使获得的遥感图像数据具有可以接受的信噪比,就不得不在光谱分辨率和空间分辨率之间保持平衡.高光谱分辨率的卫星遥感图像数据往往具有较低的空间分辨率,因此可使用基于超分辨率重构的技术对低空间分辨率遥感数据进行补偿,以使其在保持原始光谱特性的基础上提高空间分辨率.

常用的遥感图像超分辨率重构算法主要有频域法和空域法^[7].仿蝇信息融合系统的超分辨率重构主要包括 3个方面:1)不同(或者相同)遥感平台的不同空间分辨率图像的融合;2)同一遥感平台的虚拟复眼图像的超分辨率重构;3)多个虚拟复眼图像监测信息的反演结果的超分辨率重构^[8].

考虑到自然蝇采用较复杂的神经网络来处理信息,为证明其可行性,以神经网络来做同一遥感平台的虚拟复眼图像超分辨率重构^[9].

仿真实验时作如下假设:1)考虑到自然复眼的每个小眼的光瞳基本一样,在仿真时虚拟复眼图像的降质只考虑纯移位和降采样;2)虚拟复眼图像是通过模拟产生的;3)超分辨率重构的分辨率提高倍数为 2

仿真算法具体实现步骤为

- 1)选取一幅航拍的遥感图像 y^s 作为参考图像, s 表示分辨率的大小.
- 2)将 y^s 分别在水平、垂直方向移位为 (i, j) , $i, j=0, 1$.然后将移位后的图像进行 2 倍的降采样,得到 4 幅更低分辨率的图像,分别记为 $y_{00}^{2s}, y_{01}^{2s}, y_{10}^{2s}, y_{11}^{2s}$,目标就是将 4 幅较低分辨率的虚拟复眼图像 y_{ij}^{2s} 重构为更高分辨率的图像 x^s ,记为: $y_{ij}^{2s} \rightarrow x^s$.
- 3)从 y_{ij}^{2s} 中选择一幅图像,如 y_{00}^{2s} ,对它进行双线性插值,放大到和 y^s 一样大小,然后对放大后的图像执行与 2)相同的操作得到 4 幅更低,分辨率的虚拟复眼图像,分别记为 $y_{00}^{4s}, y_{01}^{4s}, y_{10}^{4s}, y_{11}^{4s}$.
- 4)选择一幅更低分辨率的图像,如 y_{00}^{4s} ,对它进行插值放大到和 y^s 一样大小,然后作为神经网络的输入, y_{00}^{2s} 作为神经网络的输出.

神经网络选择 BP神经网络,共包括 3层:输入层、隐层和输出层.学习函数采用 Levenberg-Marquardt 反向传播算法.神经网络训练完成以后,就得到网络的权值矩阵.然后将虚拟复眼图像输入训练好的神经网络,从而得到重构图像,仿真实验结果如图 5 所示.实验采用航拍遥感图像进行超分辨率重构.

关于本文的神经网络算法与常规的 2 种图像超分辨率重构算法 (即双线性插值和凸集投影算法) 的信噪比 SNR 性能比较见表 1. 设超分辨率重构结果的信噪比 SNR 为: $SNR = 10 \lg | \sigma_r / \sigma_s |^2$, 式中: σ_r 表示原始参考图像的标准差, σ_s 表示参考图像和重构图像的差值的标准差. 神经网络重构的图像的 SNR 为 15.46, 而将 y_{00}^{25} 进行双线性插值所得的 SNR 为 13.78, 凸集投影算法所得的 SNR 为 15.42 由表 1 可见, 神经网络算法的 SNR 优于双线性插值, 稍好于凸集投影算法.

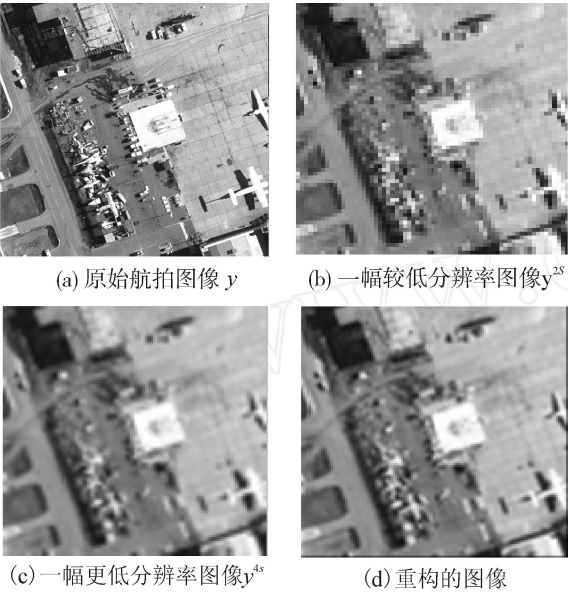


图 5 航拍遥感图像超分辨率重构

Fig 5 Superresolution reconstruction of aerial image

表 1 航拍遥感图像超分辨率重构 3 种算法的性能比较
Table 1 Performance comparison of three algorithms for superresolution reconstruction of aerial remotely sensed image

算法	SNR /dB
双线性插值算法	13.78
凸集投影算法	15.42
神经网络算法	15.46

4 结束语

针对水资源水环境空中、地面多传感器监测信息融合这样一个复杂、非结构化过程的研究, 尚未形成较成熟的不同时空尺度数据、特征、证据和策略的多源信息融合与计算理论和技术. 受昆虫复眼获取与处理信息的机理和过程的启发, 本文试图跳出传统的研

究思路, 提出和设计的多源监测信息融合仿蝇复眼型系统模式, 以及基于仿蝇复眼感知与计算机理的信息融合工程模型和算法, 为进一步深入解决多源监测信息融合处理存在的难点提供了新的策略. 另外在多源监测信息融合仿蝇复眼型系统模式中, LF、SF 系统相互协调工作以及仿“池细胞”的系统管理都只是初级层次上的实现, 还没有实现真正的高层次的“类蝇”机理, 这是需要进一步深入解决的问题.

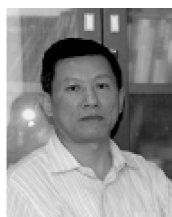
参考文献:

[1] 徐立中, 林志贵, 黄凤辰. 基于信息融合的水质自动监测系统体系结构 [J]. 河海大学学报, 2003, 31 (6): 694-697.
XU L izhong, L N Zhigui, HUANG Fengchen Information fusion-based automatic water quality monitoring system [J]. Journal of Hohai University, 2003, 31 (6): 694-697.
[2] 潘 泉, 于 昕, 程咏梅, 等. 信息融合理论的基本方法与进展 [J]. 自动化学报, 2003 (4): 599-615.
PAN Quan, YU Xin, CHENG Yongmei, et al Essential method and progress of information fusion theory [J]. Acta Automatica Sinica, 2003 (4): 599-615.
[3] XU L izhong, L N Zhigui Qualitative analysis and quantified evaluation of information fusion efficiency in multi-sensor systems [J]. Dynamics of Continuous Discrete and Impulsive Systems Series B: Applications & Algorithms, 2005, 1 (1): 208-212.
[4] 石爱业, 徐立中, 黄凤辰. 基于神经网络——证据理论的遥感图像数据融合与湖泊水质状况识别 [J]. 中国图象图形学报, 2005, 10 (3): 372-377.
SH I A iye, XU L izhong, HUANG Fengchen Remote-sensed images fusion and lake water quality identification based on neural networks and evidence theory [J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10 (3): 372-377.
[5] 郭爱克. 计算神经科学 [M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2000.
[6] 戴昌达, 姜小光, 唐伶俐. 遥感图像应用处理与分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
[7] PARK S C, PARK M K, EI-SAM IE F A. Superresolution image reconstruction: a technical overview [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2003, 20 (3): 21-36.
[8] L I M in, XU L izhong Reconstruction of bionic compound eye images based on superresolution algorithm [C] // Pro-

ceedings of the IEEE International Conference on Integration Technology, Shenzhen, 2007, 20-24.

- [9] LU Y, NAMURA M. Superresolution of the undersampled and subpixel shifted image sequence by a neural network [J]. International Journal of Imaging Systems and Technology, 2004, 14(1): 8-15.

作者简介:



徐立中,男,1958年生,教授,博士生导师,计算机及信息工程学院副院长,通信与信息系统工程研究所所长,中国电子学会高级会员,中国计算机学会高级会员,中国神经网络委员会委员,

江苏省电子学会信号与线路专业委员会委员,江苏省计算机学会人工智能专业委员会委员,江苏省制造业信息化示范工程咨询专家组专家,主要研究方向为信息获取与处理、遥测遥控、智能信息系统.主持和完成 8 项国家和省部级科技计划项目,10 余项测控系统和设备的研制工作,曾获江

苏省科技进步二等奖 2 项,三等奖 4 项,获国家发明专利 3 项,实用新型专利 6 项,计算机软件著作权证书 2 项,发表学术论文 100 余篇,出版著作 4 部.



石爱业,男,1969 年生,讲师,主要研究方向为信息融合、图像处理与分析、遥感技术应用.发表学术论文 10 余篇,出版专著 1 部.



黄凤辰,男,1964 年生,副研究员,中国电子学会高级会员,主要研究方向为遥测遥控、信号处理与系统.获国家专利 4 项,发表学术论文 10 余篇.

The 3th International Conference on Intelligent System & Knowledge Engineering

第三届智能系统与知识工程国际会议

ISKE 2008 is the 3th International Conference on Intelligent System & Knowledge Engineering. The conference this year is technically co-sponsored by IEEE, Ghent University and Belgian Nuclear Research Centre, and organized by Xiamen University, Fuzhou University, Fujian Agri & Fore University, Jimei University, Sanming University and Hunan Institute of Humanities, Science & Tech. It will be held from 17 to 18 Nov 2008 in Xiamen, Fujian, China. We invite submissions of papers presenting a high-quality original research and development for the conference tracks. Accepted papers will be published in the IEEE categorized conference proceedings submitted for indexing to EI and ISTP. Authors of selected papers will be invited to submit revised and expanded version of their papers to be considered for publication in the well-known international journals (SCI or EI) or English Journals.

Email: suxiaxu@xmu.edu.cn, iske2008@xmu.edu.cn

Website: <http://iske2008.xmu.edu.cn/>