

引用格式: Zhou Botian, Liu Xiangnan, Wu Ling, *et al.* Missing CCD Data Interpolated by SAR Algorithm Research and Its Application Test[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2013, 28(6): 1046-1053. [周博天, 刘湘南, 吴伶, 等. SAR 插补 CCD 缺失数据算法及其应用检验[J]. 遥感技术与应用, 2013, 28(6): 1046-1053.]

SAR 插补 CCD 缺失数据算法及其应用检验

周博天^{1,2}, 刘湘南¹, 吴伶¹, 高洪雷¹, 刘达¹

(1. 中国地质大学(北京)信息工程学院, 北京 100083; 2. 重庆绿色智能技术研究院, 重庆 400714)

摘要:提出了一种利用 SAR 插补因云遮挡导致 CCD 数据缺失的算法。通过分析云及其阴影的光谱特征, 设计出云及其阴影的提取模型, 并运用 CCD 和 SAR 之间匹配转化算法和有云影响像元的替换运算, 得到插补后的新 CCD 数据。利用高光谱数据反演海面盐度算法所得海面盐度与实测海面盐度做相关性比较分析对本缺失数据插补算法进行检验。结果表明: 研究海域中缺失数据区域的海盐反演精度为 $R^2=0.8441$, $RMSE=0.7031$, 即 SAR 插补 CCD 缺失数据算法具有较强的可靠性和多源遥感数据兼容性, 一定程度上恢复了噪声下垫面的实际情况, 可以用于融合多传感器生成时空完整、高精度的数据产品。

关键词: 插补算法; CCD 缺失数据; SAR; 去云; 海面盐度

中图分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2013)06-1046-08

1 引言

HJ-1 卫星 CCD 数据目前已经广泛应用于海色遥感等许多研究领域^[1-3], 然而 CCD 数据易受云等噪声影响而缺失数据的问题一直是困扰光学遥感应用的大难点, 需要采用其他无噪影像数据插补缺失数据或者通过去云算法消除噪声影响。国内外学者在这方面做了不少研究, 多是从单一传感器提取的光谱特性入手。多光谱图像法、影像融合法、几何结构内插法、同态滤波法以及机器学习法等^[4-8]传统插补噪声算法是根据不同的噪声下垫面进行设计的, 普适性较低。并且由单一传感器反演地表特征参量, 其生成的数据产品存在时空完整性低、精度不够高、反映地表时空变化不连续、空间分辨率单一等问题。因而, 如何利用多源遥感数据产品在时空完整性、精度等方面的互补性, 融合多传感器生成时空完整、高精度的遥感数据产品, 是当前定量遥感数据产品生成中需要解决的重要问题。

为解决上述问题, 本文基于多传感器在空间分辨率、时空完整性、数据产品精度等方面所具有的互补性, 提出利用 SAR 插补 CCD 缺失数据算法, 以提高 CCD 数据的完整性与连续性。虽然 Radarsat-2 卫星过境时间为早晚 6 点左右, 而 HJ-1 卫星为上午 10 点左右, 但是 SAR 数据采用的主动发射微波方式受太阳辐射影响非常小, 并且本文利用经验模型建立 CCD 与 SAR 数据之间的像元位置匹配转化算法, 可以将因时间差异而导致的影响包含在模型误差之内, 因此理论上 SAR 影像可与 CCD 影像进行经验模式的像元位置匹配转化。本文通过设计出研究区云及其阴影区域提取模型, 结合非监督自动分类模型, 并采用线性回归分析的图像匹配转化算法和像元替换运算, 提出利用 SAR 插补 CCD 缺失数据算法, 解决光学数据因云遮挡导致数据缺失的难题。对于该缺失数据插补算法效果的评价, 可利用插补后新 CCD 数据获取的海面盐度反演值与海面盐度实测值做相关性分析来检验其可靠性。

收稿日期: 2012-06-07; 修订日期: 2013-05-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(U0933005)。

作者简介: 周博天(1984—), 男, 重庆人, 博士研究生, 主要从事遥感地学建模与环境监测研究。E-mail: zhoubotian_gis@sina.com。

通讯作者: 刘湘南(1964—), 男, 湖南衡阳人, 教授, 主要从事遥感信息分析与地学应用研究。E-mail: liuxncugb@163.com。

2 数据与预处理

2.1 研究区与数据

研究海域选择香港维多利亚港西侧海域及大屿山岛的北部与东部海域(中心经纬度为 114.079°E , 22.229°N),如图1所示。实验数据由中国科学院南海研究所“南海近海水色要素动态变化及其机理研究”项目组以及香港环境保护署官方网站提供(<http://sc.epd.gov.hk>),包括2010年5月3日研究海域内36个数据采样点的实测海面盐度SSS(Sea Surface Salinity),同期的国产环境与资源小卫

星(HJ-1) CCD数据以及加拿大RadarSat-2卫星SAR数据。HJ-1-A/B两颗卫星上分别搭载了宽覆盖(单台360 km,双台700 km)多光谱CCD相机,空间分辨率30 m,轨道高度650 km,重返周期2 d,可以形成对研究区的大范围、中尺度、高时间分辨率的覆盖监测。Radarsat-2卫星SAR数据采用C波段($f=5.405\text{ GHz}$)四极化精细波束模式成像,包括HH、HV、VH、VV 4种不同极化方式的单层数据,入射角 $38^{\circ}\sim 41^{\circ}$,地面分辨率为 $10\times 7.5\text{ m}$,具有穿云透雾特性,不受云等噪声的影响,通过极化分解可以获取反映地物微波辐射传输过程的极化信息。

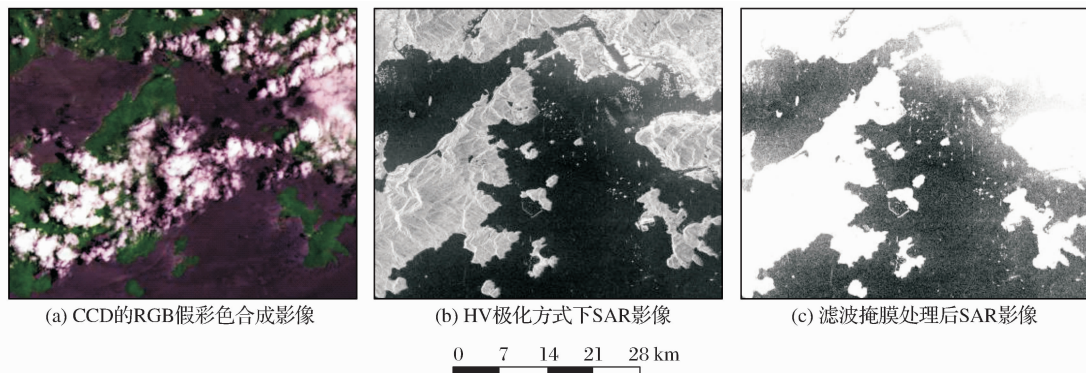


图1 CCD和SAR数据预处理

Fig. 1 CCD and SAR data preprocessing

2.2 数据预处理

从研究区邻近水域较“清洁”水体获得有关大气校正参数,并应用6S辐射传输模型对研究区CCD数据进行大气校正^[9],获得CCD数据1~4波段的遥感反射率。图1(a)为CCD波段342的RGB假彩色合成影像。利用NEST和POLARS两种极化处理软件对HV、HH、VV和VH极化模式下的SAR影像作Lee滤波去噪和掩膜处理去除椒盐噪声与陆地效应对海面微波辐射过程的影响,并对影像进行极化分解,提取SAR数据各像元的后向散射系数。图1(c)为以HV极化方式下的SAR源数据(图1(b))为例,经Lee滤波去噪和掩膜处理后的SAR影像。影像配准是进行数据插补的前提,如图1所示,对两种影像数据采用ENVI重采样工具进行影像裁剪,并选取道路交叉处、机场或桥梁边界、海岸线棱角等20个具有明显特征的典型地物点作为配准点,运用邻近点插值法(nearest neighbor algorithm)进行影像几何纠正,配准后CCD与SAR数据影像的地物纹理形态基本一致。

3 插补缺失数据算法的建立

首先在无云无阴影海域选取纯像元代表样区,根据样区内像元CCD光谱反射率和SAR后向散射系数的变化趋势,分别对CCD 4个波段光谱反射率与对应SAR数据4种极化方式下后向散射系数进行线性回归分析,得到CCD与SAR数据之间像元位置匹配转化算法。然后采用SAR数据以及该匹配转化算法,生成与CCD源数据匹配的无云无阴影影像。最后利用该无云无阴影影像与云及其阴影提取图像,对CCD源数据中的有云影响区域进行像元替换处理,得到SAR插补CCD缺失数据后生成的新CCD数据。

3.1 CCD与SAR之间像元位置匹配转化算法

根据研究区遥感影像,分别选取云、水体、陆地、云阴影各10块纯像元代表样区,并在每个样区内随机提取10个纯像元的遥感信息,即CCD 4个波段光谱反射率和SAR 4种极化方式下后向散射系数。图2中云、水体、陆地、云阴影的CCD光谱反射率和SAR后向散射系数的取值为4种地物分别选取的100个纯像元取值的总平均值。

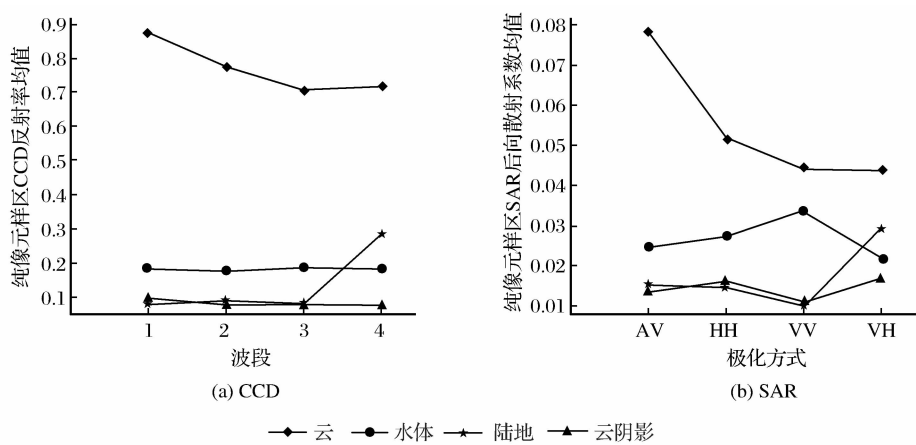


图 2 CCD 光谱反射率和 SAR 后向散射系数变化趋势图

Fig. 2 Tendency chart of CCD spectral reflectance and SAR backscattering coefficient

如图 2 可知,在代表样区 4 种纯像元 CCD 数据 1、2、3、4 波段光谱反射率变化趋势与 SAR 数据 HV、HH、VV 和 VH 极化方式下后向散射系数变化趋势具有一定程度的相似性。因此可以根据这种变化趋势相似性,在无云无阴影海域建立 CCD 数据 1、2、3、4 波段光谱反射率分别与 SAR 数据 HV、HH、VV 和 VH 极化方式下后向散射系数之间的相互转化关系。

为建立 SAR 与 CCD 之间的转化关系,首先应建立两种影像数据之间的像元位置匹配关系。SAR 像元分辨率为 $10\text{ m}\times7.5\text{ m}$, CCD 像元分辨率为 $30\text{ m}\times30\text{ m}$,因此 3×4 个规则 SAR 像元正好对应 1 个 CCD 像元。根据两种影像数据的相关技术参数,运用邻近点插值法,并利用 ENVI 和 MATLAB 等图像处理软件就可以实现在 WGS-84 地理坐标系下将 SAR 数据像元分辨率匹配转化为 $30\text{ m}\times30\text{ m}$ 的影像重采样处理,即实现了将 CCD 和 SAR 的行列像元数目调整到一致的遥感图像处理,从而在无云无阴影海域建立起 1 个 CCD 像元光谱反射率与 3×4 个 SAR 像元后向散射系数平均值之间的相互转化关系。

1 个 CCD 像元光谱反射率与对应的 3×4 个 SAR 像元后向散射系数平均值之间的线性回归方程可以表示为:

$$Y_i = a_i X_r + b_i \quad (1)$$

其中: Y_i 为 2010 年 5 月 3 日研究海域 CCD 数据 i 波段的光谱反射率, X_r 为同时期 i 波段所对应极化模式下 3×4 个 SAR 像元后向散射系数平均值。

图 3 为研究区海域 36 个数据采样点中无云影响的 28 个数据采样点 CCD 1、2、3、4 波段光谱反射

率分别与 HV、HH、VV 和 VH 极化方式下 SAR 后向散射系数平均值之间的相关性分析。

3.2 云检测算法

将 CCD 源数据波段 3、4、2 进行 RGB 假彩色合成,能够获得一幅从视觉上可以区分云与其他地物(包括陆地、海水等)的彩色影像(图 1(a)),但要运用 RGB 假彩色合成技术精确检测出有云影响区域是比较困难的。又因为检测云主要依靠的还是色调差别,所以本研究选择 HSV 色彩空间转换技术对获取的色调值(H)进行简单客观的阈值限定,获取更好的云检测效果。

HSV 变换公式有很多,由于 HSV 色彩模型呈现出一个六棱锥体,因此采用最贴近 HSV 色彩模型的单六角锥变换进行色彩空间的转换^[10],该变换公式为:

$$\begin{aligned} V &= \frac{\max}{255}, S = \frac{\max - \min}{\max}, \\ H &= \begin{cases} 60 \frac{G - B}{\max - \min}, R = \max \\ 60 \frac{2 + B - R}{\max - \min}, G = \max \\ 60 \frac{4 + R - G}{\max - \min}, B = \max \\ H + 360, H < 0 \end{cases} \quad (2) \end{aligned}$$

其中: R 、 G 、 B 分别为 RGB 色彩空间的红、绿和蓝 3 分量; H 、 S 、 V 分别为 HSV 色彩空间的色调、饱和度和亮度 3 分量; $\max = \max(R, G, B)$ 和 $\min = \min(R, G, B)$ 。

在 CCD 数据的 RGB 假彩色合成影像中(如图 1(a)),高云(特别是卷云)在色彩空间中为乳白色,中低云为灰白色,陆地基本为绿色,而水体为灰黑

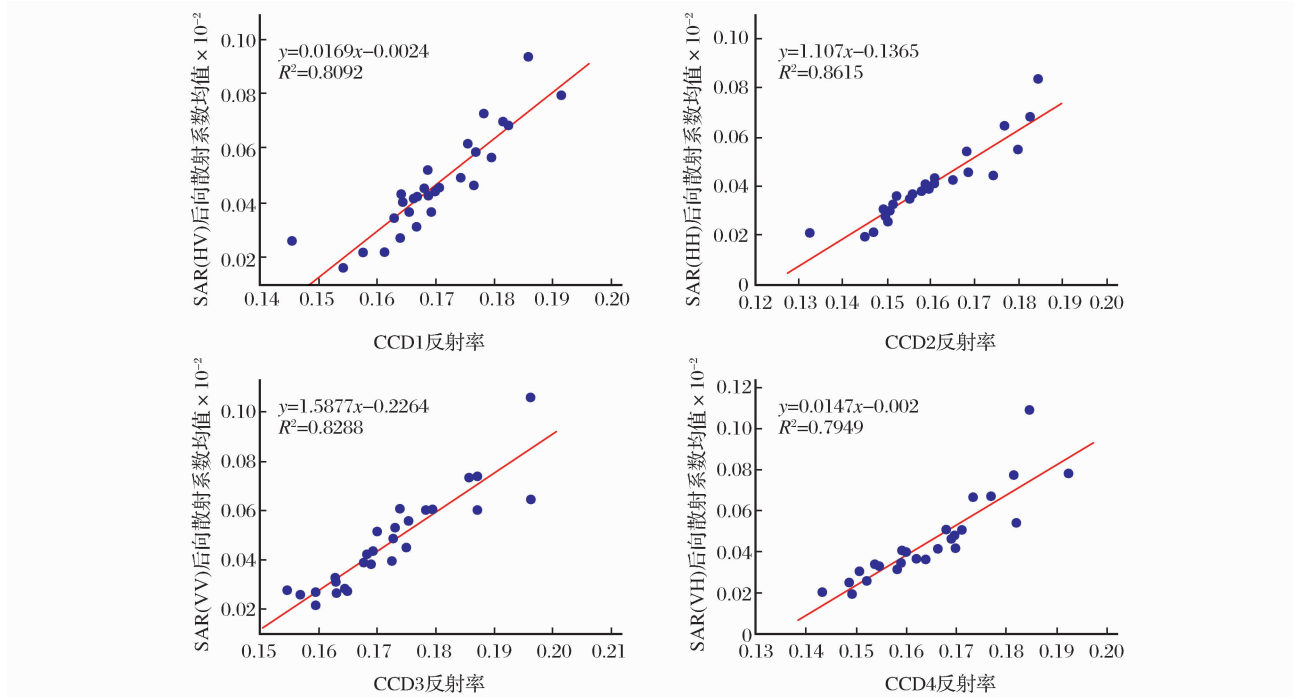


图 3 CCD 光谱反射率与对应 SAR 后向散射系数均值之间的相关分析

Fig. 3 Correlation analysis between the CCD reflectance and the mean value of corresponding SAR backscattering coefficients

色。而在 HSV 色彩空间中云的色调与其他地物色彩差别更大,更容易判别,如图 4(a)所示。为了增加算法的鲁棒性,需要将阈值适当地扩大。因此提出 HSV 色彩空间中基于简单阈值的云检测算法:

- (1)将 CCD 源数据的波段 3、4、2 进行 RGB 假彩色合成。
- (2)将步骤(1)所得的假彩色影像按式(1)进行

- HSV 正变换,获得色调 H 值(单位为度)。
- (3)设定色调亮度阈值检测云像元,当 $45 \leq H \leq 90$ 且 $V > 0.7$ 时,当前像元即为云。
- (4)同步骤(3)添加色调亮度阈值限定提高检测精度,即当 $180 \leq H \leq 330$ 且 $V > 0.5$ 时,当前像元也为云,否则为其他地物或者阴影。云提取的效果如图 4(b)所示。

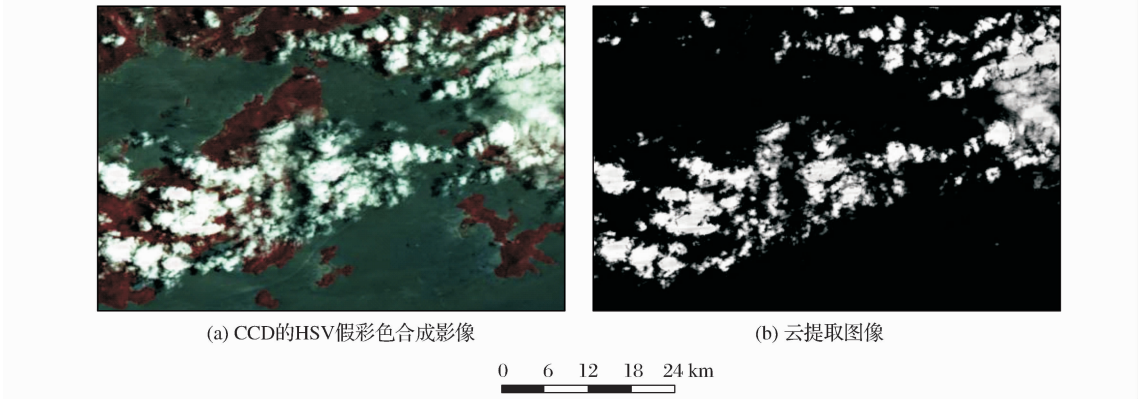


图 4 云检测处理

Fig. 4 Cloud detecting processing

3.3 云阴影提取模型

在 CCD 的 HSV 假彩色合成图像中灰白色区域就是云区域,云像元旁边的灰黑色部分是云阴影。分析图 2(a)与图 4(a),得出研究海域云及其阴影区

- 域的光谱特征如下:
- (1)每个波段的光谱反射率在有云区域比无云区域明显增高(数值变化为 0.35 以上)。
- (2)波段 2 的光谱反射率在无云海域明显减小。

在有云影响海域,波段 1、2、3、4 的光谱反射率逐步减小;波段 1 的光谱反射率在云阴影区域明显增大。

虽然随云层厚度的改变,云及其阴影影响导致影像光谱特征的变化量不一样,但是上述光谱特征变化趋势不会变。

根据对云及其阴影区域光谱特征的研究分析,提出了云阴影区域提取模型(式(3)、(4))。

$$CDM = \text{Sign}\{1 - \text{Sign}[\sum_{i=1}^3 \text{Sign}(R_{iSAR} - R_{iCCD}) - 2]\} \quad (3)$$

$$SAEM = CDM \times [(R_{3SAR} - R_{3CCD}) + (R_{4SAR} - R_{4CCD})] \quad (4)$$

其中:CDM(Cloud Discriminate Model)为云影响区域判别模型,SAEM(Shadow Area Extract Model)为云阴影区域提取模型, R_{iSAR} 为以 SAR 数据为基准转化得到的无云无阴影 CCD 波段 i 的光谱反射率, R_{iCCD} 为 CCD 源数据波段 i 的光谱反射率,Sign()为符号函数,根据计算结果的正负性取 1,0,-1 中的一个值。

如果 $CDM=0$,则该像元属于无云影响区域;否则 $CDM \geq 0$,则该像元属于有云影响区域。如果 CCD 数据波段 3 和波段 4 反射率降低,则该有云影响区域的($CDM \geq 0$ 的像元)SAEM 值增高,反之亦然。因为云阴影区域每个波段的光谱特征跟水体、云等其他像元类型的光谱特征不一样,所以采用常规的非监督自动分类模型能够区别云阴影区域与其

他像元类型区域。对采用 SAEM 计算得到的有云影响区域图像,进行阈值处理,提取可能是云阴影的像元区域。云及其阴影提取图像如图 5 所示,图中白灰色部分为云,绿色部分为云阴影。

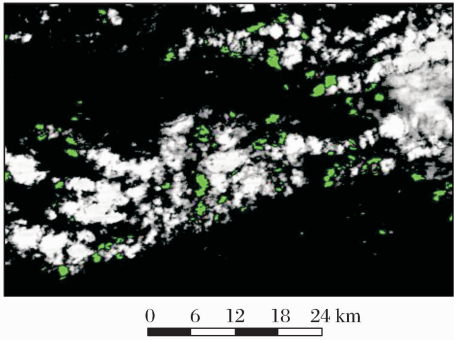


图 5 云及其阴影提取图像
Fig. 5 Image of cloud and its shadow extraction

4 结果分析

利用 CCD 与 SAR 之间像元位置匹配转化算法,在无云无阴影海域建立 CCD 数据波段 1、2、3、4 光谱反射率分别与 SAR 数据 HV、HH、VV 和 VH 极化方式下后向散射系数平均值之间的相互转化关系。在有云有阴影海域应用这种关系模型,生成以 SAR 数据(图 6(a))为基准的,且与 CCD 源数据匹

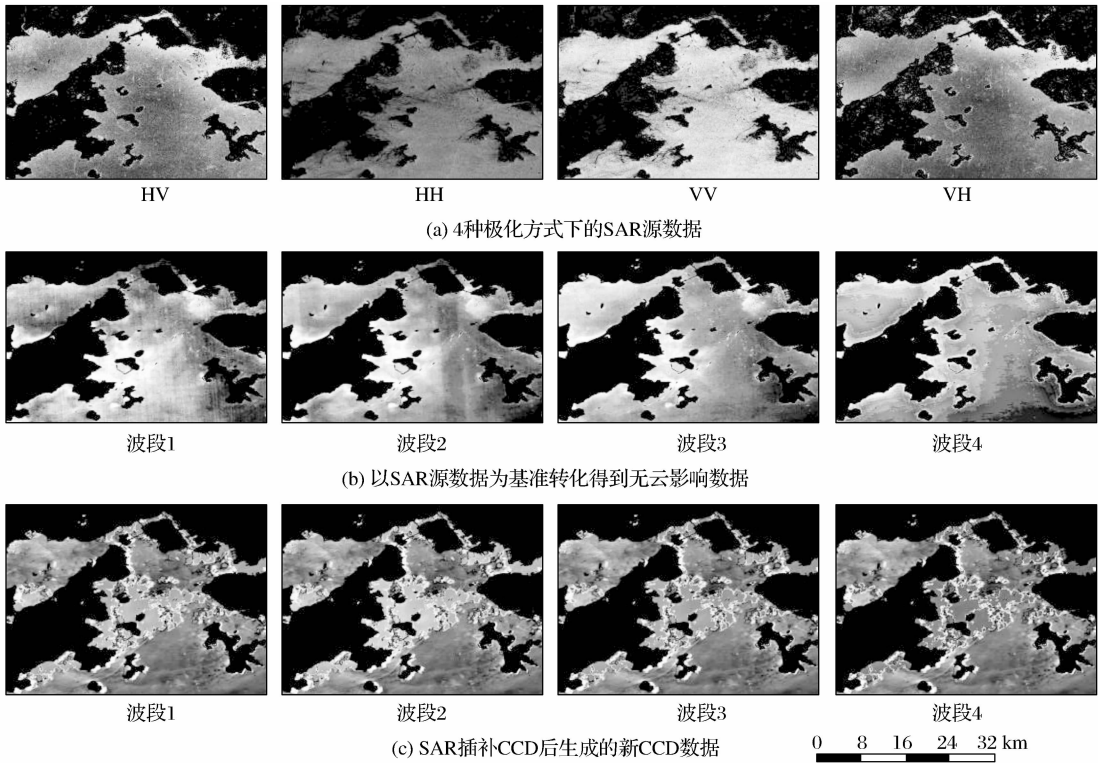


图 6 CCD 缺失数据插补处理流程
Fig. 6 Missing CCD data interpolating process

配的无云无阴影影像数据(图 6(b)),并利用云及其阴影区域提取图像(图 5),对有云影响的区域进行逐像元回归替换处理,得到 SAR 插补 CCD 缺失数据后生成的新 CCD 影像数据(图 6(c))。对比插补前后研究区 CCD 数据的各波段影像,可以看出该插补缺失数据算法去除了云及其阴影的影响,一定程度上恢复了下垫面的实际情况。

5 插补缺失数据算法的应用检验

为了验证算法的可行性和有效性,本文采用 Binding 等^[11]设计的利用高光谱数据反演海面盐度算法(式(5)、(6)),建立海面盐度与 CCD 光谱反射率之间的关系模型,并对经过 SAR 插补处理后无云影响新 CCD 数据反演得到的海面盐度值与海面盐度实测值作相关性比较分析,检验该 SAR 插补 CCD 缺失数据算法的可靠性。

$$g_{440}=0.635(R_{665}/R_{490})+0.103 \tag{5}$$

$$SSS=-11.5g_{440}+35.6 \tag{6}$$

其中: g_{440} 是在 440 nm 处海面光谱吸收系数, R_{665} 和 R_{490} 为在 665 nm 和 490 nm 处海面光谱反射率。

CCD 1 的波段范围是 430~520 nm,CCD 3 的波段范围为 630~690 nm,因此式(5)可以改写成式(7)。

$$g_{440}=0.635(R_3/R_1)+0.103 \tag{7}$$

其中: R_3 和 R_1 为 CCD 波段 3 和波段 1 的海面光谱反射率。

利用 ENVI 的 Band Math 对插补处理后新 CCD 数据进行以上运算,得到研究区海域海面盐度分布图(如图 7)。研究区海域全部 36 个数据采样

点,其中无云影响的 28 个数据采样点以及有云影响的 8 个数据采样点的海面盐度反演值与实测值的相关性分析分别如图 8 所示。如图 8(b),在无云影响研究区海域基于高光谱数据的海面盐度反演算法的反演精度为 $R^2=0.8539$, $RMSE=0.4211$,表明基于高光谱数据的海面盐度反演算法是可行的,即可用来检验 SAR 插补 CCD 缺失数据算法。如图 8(c),在有云影响研究海域利用高光谱数据反演海面盐度的精度为 $R^2=0.8441$, $RMSE=0.7031$,表明利用 SAR 插补 CCD 缺失数据算法处理得到的新 CCD 数据反演海面盐度是可行的,即该插补算法能够在一定程度上解决 CCD 数据缺失的问题,使其更加准确地反映噪声下垫面的海面水质实际情况。因此 SAR 插补 CCD 缺失数据算法能够兼顾微波数据与光学数据在反演海表基本参数应用中各自的优势,得到比利用单一遥感数据更好的反演效果,即该算法可以应用于大范围快速插补光学遥感缺失数据。

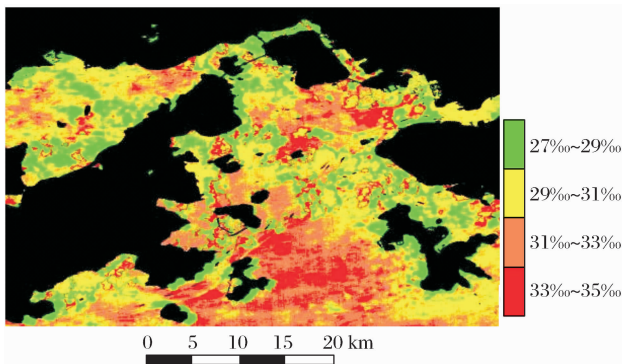


图 7 研究区海面盐度分布

Fig. 7 Distribution of sea surface salinity in the target area

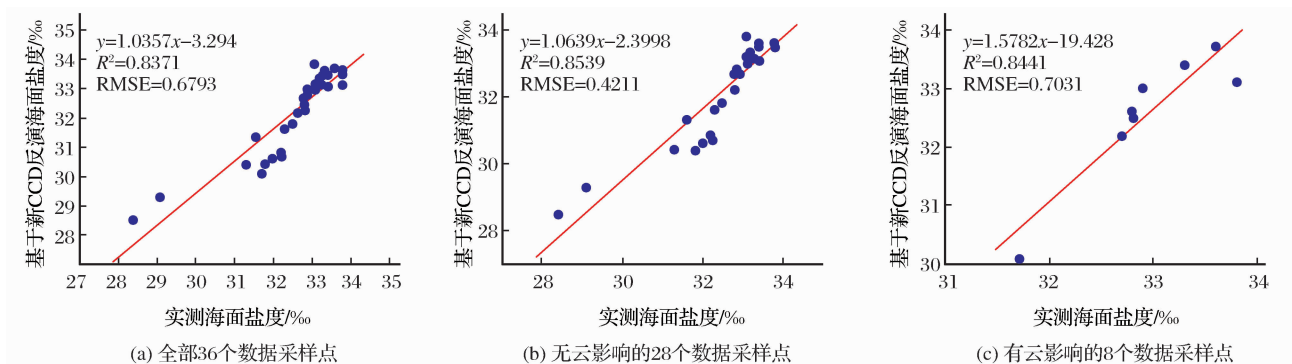


图 8 海面盐度反演值与实测值的比较分析

Fig. 8 Comparison between the sea surface salinity retrieval values and measured values

6 结 语

插补因云遮挡导致光学数据缺失的算法研究一

直是遥感图像处理研究中的重要内容。利用本文提出的 SAR 插补 CCD 缺失数据算法,采用 2010 年 5 月 3 日的 SAR 数据与有云影响 CCD 数据,对珠江

口东岸香港海域进行插补 CCD 缺失数据算法研究。结果表明:SAR 插补 CCD 缺失数据算法是可行的,既能保留 CCD 数据反演海表基本参数的机理优势,又能弥补 CCD 数据完整性方面的不足,建立基于多源遥感影像插补缺失数据算法的海面盐度反演模型,可以达到大范围快速精确提取噪声影响下海面盐度的目的。该插补算法处理流程简单,且不需要严格的阈值调整,除需要 CCD 4 个波段的光谱反射信息以及 SAR 4 种极化方式下的微波散射信息之外,不需要其他信息。因此对于其他地区其他时期的 CCD 数据也可以实行上述算法流程自动插补云噪声所导致的缺失数据,以提高遥感数据产品的完整性与连续性。

由于实验条件限制和获取数据有限,实验还不够完善。通过研究分析,认为从以下角度入手进行改进,可以更好地提高本算法的插补效果:

(1)虽然本文仅利用了同一时期两种遥感影像源数据进行缺失数据插补处理消除光学影像的云噪声影响,但是为了获取更好的结果,可以利用两种以上的遥感影像源数据,或者利用更多不同年份相同季节的遥感影像源数据。

(2)本文提出的缺失数据插补算法运算是以每个像素为单位进行的,对于影像数据之间的匹配要求很严格,为了获取更好的结果,除了大气校正之外,还应该对遥感影像进行高精度的地形校正。

(3)本文建立 CCD 与 SAR 之间的匹配转化关系为线性关系,这种线性经验关系模型过于简单,希望能够从光学和微波遥感成像机理上找出更加合理有效的方法,以进一步提高两种遥感数据匹配转化的精度。

(4)本研究中数据插补像素替换处理采用的是逐像元回归替代算法,并没有进行云及其阴影边缘处理方法,导致插补后生成的新 CCD 影像有较明显的插补痕迹,为进一步提高影像数据的质量和海面盐度的反演效果,应该找出合适的云及其阴影边界的平滑处理方法。

参考文献 (References):

- [1] Yin Fang, Jiang Dong, Liu Lei. Using Data of HJ-1A HSI for Retrieving Grassland Leaf Area Index[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2011, 26(3): 360-364. [尹芳, 江东, 刘磊. 基于环境星 HSI 影像草地叶面积指数反演[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(3): 360-364.]
- [2] Yang Ting, Zhang Hui, Wang Qiao, *et al.* Retrieving for Chlorophyll-a Concentration and Suspended Substance Concentration based on HJ-1A HIS Image[J]. Environmental Science, 2011, 32(11): 3207-3214. [杨婷, 张慧, 王桥, 等. 基于 HJ-1A 卫星超光谱数据的太湖叶绿素 a 浓度及悬浮物浓度反演[J]. 环境科学, 2011, 32(11): 3207-3214.]
- [3] Chen Liqiong, Tian Liqiao, Qiu Feng, *et al.* Water Color Constituents Remote Sensing in Wuhan Donghu Lake Using HJ-1A/B CCD Imagery[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2011, 36(11): 1280-1283. [陈莉琼, 田礼乔, 邱凤, 等. HJ-1A/B 卫星 CCD 影像的武汉市东湖水质三要素遥感研究[J]. 武汉大学学报, 2011, 36(11): 1280-1283.]
- [4] Gabarda S. Cloud Covering Denoising through Image Fusion[J]. Image and Vision Computing, 2007, 25: 523-530.
- [5] Tseng D C. Automatic Cloud Removal from Multi-temporal SPOT Images[J]. Applied Mathematics and Computation, 2008, 205: 584-600.
- [6] Maalouf A. A Bandlet-based In painting Technique for Clouds Removal from Remotely Sensed Images[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2009, 47(7): 2363-2371.
- [7] Shen Wenshui, Zhou Xinzhi. Algorithm for Removing Thin Cloud from Remote Sensing Digital Images based on Homomorphic Filtering[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2010, 22(1): 45-48. [沈文水, 周新志. 基于同态滤波的遥感图像薄云去除算法[J]. 强激光和粒子束, 2010, 22(1): 45-48.]
- [8] Raut B A. Wavelet-based Technique to Extract Convective Clouds from Infrared Satellite Images[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2008, 5(3): 328-330.
- [9] Yang Jingxue, Wang Yunpeng, Yang Yong. Atmospheric Correction Model of Remote Sensing Image by Regression Analysis between Elevation/Aerosol Optical Thickness and Correction Parameters of 6S Model[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2009, 24(3): 331-340. [杨静学, 王云鹏, 杨勇. 基于高程或气溶胶厚度与 6S 模型校正参数回归方程的遥感图像大气校正模型[J]. 遥感技术与应用, 2009, 24(3): 331-340.]
- [10] Li Wei, Li Deren. The Cloud Detection Study of MODIS based on HSV Color Space[J]. Journal of Image and Graphics, 2011, 16(9): 1696-1701. [李微, 李德仁. 基于 HSV 色彩空间的 MODIS 云检测算法研究[J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(9): 1696-1701.]
- [11] Binding C E, Bowers D G. Measuring the Salinity of the Clyde Sea from Remotely Sensed Ocean Colour[J]. Estuarine Coastal and Shelf Science, 2003, 57: 605-611.

Missing CCD Data Interpolated by SAR Algorithm Research and Its Application Test

Zhou Botian^{1,2}, Liu Xiangnan¹, Wu Ling¹, Gao Honglei¹, Liu Da¹

(1. *School of Information Engineering, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

2. *Chongqing Institute of Green and Intelligent Technology, CAS, Chongqing 400714, China*)

Abstract: An algorithm of missing CCD data interpolated by SAR due to cloud was proposed in this paper. The core of this algorithm was: by analyzing the spectral characteristics of the cloud and its shadow, the cloud and its shadow extraction model was put forward; the CCD and SAR matching transformation algorithm as well as the cloud-effected pixel replacement operation were then used to generate the new interpolated CCD data. The correlation between the measured sea surface salinity and the retrieved sea surface salinity which was obtained by the CCD data retrieval algorithm which was used to test the above missing data interpolation algorithm. The results demonstrated that the accuracy of retrieved sea surface salinity in the missing data region of the target sea area was $R^2=0.8441$, $RMSE=0.7031$. Therefore, the algorithm of missing CCD data interpolated by SAR was generally practical and compatible with different sources of data. Moreover, the algorithm restored the actual condition of the noise underlying surface in some extent, and along with multiple sensors, it could generate the complete space-time data products with high precision.

Key words: Interpolation Algorithm; Missing CCD Data; SAR; Cloud removal; Sea Surface Salinity