

# 基于最大公约数的遥感影像空间尺度转换算法

高永刚, 徐涵秋

(1. 福州大学环境与资源学院, 福州 350116; 2. 福州大学遥感信息工程研究所, 福州 350116)

**摘要** 多源、多尺度遥感影像为研究不同尺度的地表变化提供了丰富的数据。但其在作比较研究时, 通常会涉及空间尺度统一问题, 当多源遥感影像之间的空间分辨率为非整倍数关系时, 其空间尺度统一相对困难。为此, 本文针对多源、多尺度遥感影像间尺度比较时所涉及的空间尺度转换问题, 提出了最大公约数的空间尺度转换算法, 并以IKONOS多光谱影像为数据源, 采用若干商业软件和本文所提算法进行空间尺度转换比较实验; 同时, 利用均值、标准差和相关系数等6个评价指标对空间尺度变换后的影像进行定量评价。结果表明, 本文提出的空间尺度转换方法对原始影像的光谱信息等特征具有很好的保真性, 简单易行, 可实现遥感影像任意空间尺度的转换, 解决了多源遥感影像之间的空间分辨率为非整倍数关系时的空间尺度转换问题。

**关键词** 多尺度影像; 最大公约数; 重采样; 尺度转换; 空间尺度

**DOI:**10.3724/SP.J.1047.2015.01520

## 1 引言

尺度是指研究对象或现象在空间上的量度, 即空间尺度<sup>[1]</sup>。Cao和Lam在Lam和Quattrochi对空间域尺度划分的基础上, 进一步将空间域尺度细分为地图尺度(Cartographic or Map Scale)、地理尺度(Geographic or Observational Scale)、测量尺度(Measurement Scale)和运行尺度(Operational Scale)<sup>[2]</sup>。对于遥感影像而言, 尺度的概念可理解为遥感影像的空间分辨率、光谱分辨率、辐射分辨率和时间分辨率。遥感影像的空间分辨率与地理学中的地图尺度相关。地表景观间的差异和变化主要用其空间细节和整体性表现。因此, 遥感影像的应用尺度主要为空间分辨率对地物景观描述的研究。

遥感应用的尺度研究涉及尺度效应、尺度转换和尺度选择3方面的内容, 其中, 尺度转换是指利用某种算法生成不同空间分辨率的遥感影像或进行遥感影像空间分辨率的统一, 即空间分辨率的缩放或空间分辨率的统一。空间分辨率的缩放是指将单一空间分辨率的遥感影像按照一定的转换算

法生成不同空间分辨率遥感影像的过程。空间分辨率的统一是指将同源或异源遥感卫星上, 不同空间分辨率的遥感影像统一到相同空间分辨率的过程。空间分辨率缩放包括向上尺度转换(Up-scaling)和向下尺度转换(Downscaling)。向上尺度转换也称为尺度扩展, 是指将高空间分辨率遥感影像转换为低空间分辨率的过程, 其主要方法有统计方法和地学机理方法<sup>[4]</sup>。统计方法有局部平均法、中值法、中心法及重采样法(最近邻法、双线性内插和立方卷积内插)、统计分形等相关算法<sup>[5-16]</sup>。地学机理方法是通过建立多个变量的模型来预测低分辨率上某一地学变量的值, 因此, 这种模型需除去被转换变量以外的其他辅助信息<sup>[1]</sup>, 且该模型会因转换信息而异。向下尺度转换也称为尺度收缩, 是指将低空间分辨率遥感影像转换为高空间分辨率遥感影像的过程, 最常用的方法为遥感影像融合<sup>[17]</sup>。

遥感影像的尺度研究主要是针对同幅遥感影像, 且其空间分辨率缩放过程中获得的遥感影像均为原始遥感影像空间分辨率的整倍数关系, 很少涉及非整倍数关系。对于空间分辨率缩放算法研究较多, 而对于空间尺度统一问题的研究则较少。因

收稿日期 2015-05-11; 修回日期: 2015-08-03.

基金项目 福建省自然科学基金项目(2012J01171、2012J01169); 国家科技支撑计划项目(2013BAC08B01-05); 福建省教育厅科技项目(JA15064); 海岛(礁)测绘技术国家测绘地理信息局重点实验室基金项目(2010B09)。

作者简介 高永刚(1976-), 男, 博士, 讲师, 主要从事遥感图像处理 and 卫星测高研究。E-mail: ygao@fzu.edu.cn

此,本文提出了最大公约数的空间尺度转换方法。

## 2 影像空间尺度转换原理与方法

### 2.1 空间尺度统一

遥感影像处理中经常会遇到不同空间分辨率之间进行变化检测和数据比较等问题,而其首先须进行空间尺度的统一。如果2幅遥感影像间的空间分辨率是整倍数关系,则其空间尺度转换相对简单,直接采用最邻近像元法等插值算法进行重采样即可;但当2幅遥感影像间的空间分辨率为非整倍数关系时(如空间分辨率为4 m的IKONOS遥感影像和空间分辨率为10 m的SPOT遥感影像),此时通常不能直接进行转换。

为了解决空间分辨率为非整倍数关系的遥感影像间空间尺度的统一问题,本文提出以下解决方法:首先,将遥感影像重采样(尺度下推,即下采样)生成不同空间分辨率的最大公约数遥感影像;然后,利用相关算法重采样(尺度上推,即上采样)生成所需空间分辨率遥感影像。重采样到指定空间分辨率遥感影像后的行、列数,其计算公式如式(1)、(2)所示。

$$Row_r = \text{int}\left(\frac{Row_o \times R_o}{R_r}\right) \quad (1)$$

$$Col_r = \text{int}\left(\frac{Col_o \times R_o}{R_r}\right) \quad (2)$$

式中, $Row_r$ 为重采样后遥感影像的行数; $Col_r$ 为重采样后遥感影像的列数; $Row_o$ 为原遥感影像总行数, $Col_o$ 为原遥感影像的总列数; $R_o$ 为原遥感影像的空间分辨率; $R_r$ 为重采样后遥感影像的空间分辨率; $\text{int}()$ 为取整函数。

#### 2.1.1 最大公约数

最大公约数(Greatest Common Divisor, GCD)为几个整数共有因子中最大的一个,其计算公式如式(5)所示。

$$GCD = \frac{\text{gcd}(R_1 \times 10^n, R_2 \times 10^n)}{10^n} \quad (3)$$

式中, $GCD$ 为最大公约数; $\text{gcd}()$ 为最大公约数计算方法,常用的 $\text{gcd}()$ 计算方法有短除法、辗转相除法(欧几里得算法)、质因数分解法和列举法等; $R_1$ 和 $R_2$ 为2幅遥感影像各自的空间分辨率; $n$ 为空间分辨率的小数位数。当 $R_1$ 和 $R_2$ 均为整数时, $n=0$ ;当 $R_1$ 和 $R_2$ 中只有一个为小数时, $n$ 为其小数位数;当

$R_1$ 和 $R_2$ 均为小数时, $n$ 为小数位数的最大值。

#### 2.1.2 重采样

遥感影像进行重采样的常用算法有最邻近像元法、双线性插值法和三次卷积插值法等,它们各有优缺点。最邻近像元法具有遥感影像光谱信息保持好的特点,因此,本研究采用最邻近像元法进行下采样。根据计算出的最大公约数,采用最邻近像元法将遥感影像下采样生成空间分辨率为最大公约数的遥感影像,然后采用行列剔除法、均值法、中值法或中点法等方法,对最大公约数的遥感影像进行上采样,生成指定分辨率的遥感影像。

##### (1)最大公约数遥感影像

计算最大公约数旨在获得多尺度遥感影像间的过渡遥感影像,以实现数据重采样后遥感影像尺寸大小和空间尺度的统一问题。

下采样生成最大公约数遥感影像时,其采样间隔计算公式如式(4)所示。

$$R_i = \frac{R_o}{GCD} \quad (4)$$

式中, $R_i$ 为下采样间隔; $GCD$ 为最大公约数; $R_o$ 为原遥感影像空间分辨率;采用最邻近像元法获得的各像元的像元值,其重采样公式为式(5)–(7)。

$$\text{img\_GCD}(R_i^d + d; R_i^d + R_i, C_j^d + d; C_j^d + R_i) = \text{img\_O}(i, j) \quad (5)$$

$$R_i^d = (i - d) \times R_i \quad (6)$$

$$C_j^d = (j - d) \times R_i \quad (7)$$

式中, $\text{img\_GCD}$ 为下采样后获得的最大公约数遥感影像; $\text{img\_O}$ 为原始遥感影像; $i, j$ 为原始遥感影像的行、列号; $R_i^d, C_j^d$ 为最大公约数遥感影像中与 $i, j$ 对应的行、列起始位置。 $d$ 为常数,当遥感影像矩阵从(1,1)开始时取1;从(0,0)开始时,取0。

##### (2)指定空间分辨率遥感影像

上采样生成指定空间分辨率遥感影像时,采样间隔和遥感影像起始位置的计算公式分别如式(8)–(10)所示。

$$R_i = \frac{R_r}{GCD} \quad (8)$$

$$Row_i = \text{int}\left(\frac{R_i}{2}\right) + d \quad (9)$$

$$Col_i = \text{int}\left(\frac{R_i}{2}\right) + d \quad (10)$$

式中, $R_i$ 为上采样间隔; $GCD$ 为最大公约数; $Row_i$ 为行的起始位置; $Col_i$ 为列的起始位置。

行列剔除法为根据一定的采样间隔进行数据的选取,即根据式(9)和式(10)确定的遥感影像起始位置,每隔  $R_1$  个行列对遥感影像进行重采样。均值法、中值法和中点法与行列剔除法的区别为:分别利用采样间隔确定的  $R_1 \times R_1$  窗口数据的均值、中值或窗口中心点值代替行列所在处的像元值。

采用行列剔除法获得的指定空间分辨率遥感影像的像元值(式(11)–(13))。

$$img\_New(m,n)=img\_GCD(R_m^{\uparrow},C_n^{\uparrow}) \quad (11)$$

$$\text{其中,} \quad R_m^{\uparrow}=Row_1+(m-d) \times R_1 \quad (12)$$

$$C_n^{\uparrow}=Col_1+(n-d) \times R_1 \quad (13)$$

式中, $img\_New$ 为上采样后获得的指定空间分辨率遥感影像; $m, n$ 为指定空间分辨率遥感影像的行、列号; $R_m^{\uparrow}, C_n^{\uparrow}$ 为最大公约数遥感影像与 $m, n$ 对应的行、列位置。

## 2.2 尺度转换评价方法

空间尺度转换精度的评价是建立在转换前后信息损失最小的基础上,通常采用地统计学方法、景观指数法等进行评价<sup>[18]</sup>。因此,本文选取统计分析中的均值(Mean)、标准差(Standard Deviation, STD)、系统偏差(System Deviation, SD)、均方根误差(Root Mean Square Error, RMSE)、相对整体维数综合误差(Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse, ERGAS)、相关系数(Correlation Coefficient, CC) 6个评价指标对尺度转换精度进行定量评价,并引入Gauss概率密度分布函数,分别对原始影像和尺度转换后获得影像的直方图进行分布函数逼近,以获取各波段的分布函数模拟图。同时,采用最优核带宽法(Kernel Bandwidth Optimization, KBO)<sup>[19]</sup>对Gauss概率密度分布函数进行最佳逼近,并绘制原始影像和尺度转换后获得的影像的直方图和Gauss概率密度分布函数的模拟图(简称Gauss分布函数图)进行目视对比分析,以提高利用直方图对光谱保真度进行目视判读的准确性。

(1)均值:为影像像元值的灰度平均值,反映了影像的平均亮度(式(14))。

$$Mean = \frac{\sum_{r=1}^M \sum_{c=1}^N I(r,c)}{M \times N} \quad (14)$$

式中, $I$ 为遥感影像; $r$ 和 $c$ 为影像的行列号; $M$ 和 $N$ 为影像总的行列数。

(2)标准差:反映了影像相对于均值的离散程度(式(15))。

$$STD = \sqrt{\frac{\sum_{r=1}^M \sum_{c=1}^N (I(r,c) - Mean)^2}{M \times N}} \quad (15)$$

(3)系统偏差:指原始影像与尺度变换后影像之间差值绝对值的平均值(式(16))。该值反映了尺度变换后影像与原始影像的整体差异程度,其值越小表示差异越小,理想值为0。

$$SD = \frac{1}{MN} \sum_{r=1}^M \sum_{c=1}^N |I'(r,c) - I(r,c)| \quad (16)$$

式中, $I$ 为原始遥感影像; $I'$ 为尺度转换后获得的影像。

(4)均方根误差:反映了不同影像对应波段间的差异程度(式(17))。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{r=1}^M \sum_{c=1}^N [I'(r,c) - I(r,c)]^2}{M \times N}} \quad (17)$$

(5)相对整体维数综合误差:ERGAS是在均方根误差RMSE的基础上,将各波段的RMSE与均值做比值,综合考察影像间的光谱差异,理想值为0。其公式如式(18)所示。

$$ERGAS_i = 100 \sqrt{\frac{RMSE_i^2}{\bar{I}_i}} \quad (18)$$

式中, $\bar{I}$ 为尺度转换后获得影像的均值; $RMSE_i$ 为影像间的均方根误差; $i$ 表示波段。

(6)相关系数:反映了不同影像对应波段间的吻合度,该值越大则表明对应波段间的吻合度越好。当相关系数为1时,则表明影像对应波段的吻合度达到最大。相关系数的计算公式如式(19)所示。

$$CC_i = \frac{\sum_{r=1}^M \sum_{c=1}^N (I_i(r,c) - \bar{I}_i)(I'_i(r,c) - \bar{I}'_i)}{\sqrt{\sum_{r=1}^M \sum_{c=1}^N (I_i(r,c) - \bar{I}_i)^2 \times \sum_{r=1}^M \sum_{c=1}^N (I'_i(r,c) - \bar{I}'_i)^2}} \quad (19)$$

式中, $\bar{I}$ 为原始遥感影像的均值。

## 3 遥感影像空间尺度转换算法实验与分析

由于经尺度变换后获得的遥感影像尺寸大小与原始影像不一致,并且在尺度变换过程中涉及像元值重采样的问题,因此,无法直接比较尺度变换前后影像的光谱信息,所以本文采用间接比较的方



法(图1)。首先对原始影像进行下采样获得指定分辨率的遥感影像;然后将该影像进行尺度转换获得与原始影像相同尺度的影像;最后对这2幅影像进行评价比较。ER Mapper、ERDAS、ENVI、PCI等商业遥感软件,以及Matlab中的imresize命令,均可进行空间尺度的转换,经实验表明它们的尺度转换结果均相同,但商业遥感软件进行尺度转换时,其影像的文件信息中必须含有其空间尺度信息,否则无法按照要求的尺度进行转换。本文将利用上述专业软件进行空间尺度转换的方法简称为商业(软件)算法。

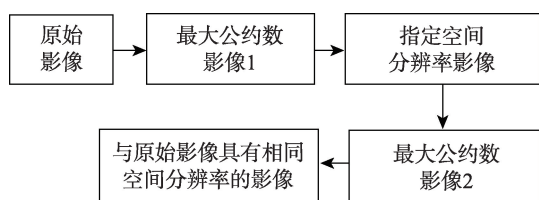


图1 间接比较法流程图

Fig. 1 Flowchart of indirect comparison method

为了验证本文所提算法的可行性及其对原始影像信息的高保真性,以IKONOS(4 m)的多光谱影像(像元大小为 $450 \times 300$ )为数据源,选取商业(软件)算法和本文算法的空间尺度转换结果进行实验分析研究(图2)。为了使尺度转换过程中光谱信息损失最小,商业(软件)算法中重采样方法选用最邻近像元法,本文算法采用行列剔除法。在交叉变换中,如果采用商业(软件)算法将空间分辨率为4 m的原始遥感影像经尺度转换(下采样)变为0.6 m、1.5 m、2.1 m和3 m 4种尺度的影像,然后采用本文算法将上述尺度影像转换(上采样)为4 m尺度影像则该转换过程称为“商业(软件)算法→本文算法”;

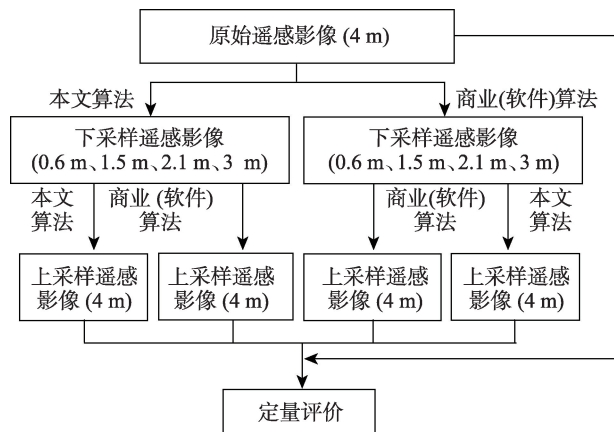


图2 尺度转换实验流程图

Fig. 2 Flowchart of scale transformation experiment

反之,称为“本文算法→商业(软件)算法”。如果交叉变换过程始终采用同一种算法,转换过程直接以算法名称命名。

根据IKONOS各波段间的相关性,选择了4、3、1的波段组合方式对尺度转换后的各影像进行显示(Nir、Red、Blue)(图3)。限于篇幅,尺度转换后的各影像和直方图,仅以2.1 m尺度与4 m尺度的相互转换为例,同时直方图对比图中仅给出了差异较大的Nir波段的直方图和Gauss概率密度分布函数的模拟图(图4)。图3(b)–(e)为采用相应算法由2.1 m尺度影像经尺度逆变换获得的与原始影像相同尺度的影像。表1–4为原始影像与各尺度转换后影像定量评价表。

通过图3分析可知,IKONOS原始影像与尺度转换后,各影像在光谱信息和空间分辨率方面无任何差别。图4(b)中,本文算法所获得的尺度转换影像与原始影像的直方图和Gauss概率密度分布图完全一致,表明2幅影像完全相同;而其他方法获得的尺度转换影像与原始影像的直方图和Gauss概率密度分布函数图均存在差异,且单一的商业(软件)算法差异最大,表明该方法在尺度转换过程中信息丢失较多。

由定量分析可知(表1–4),尺度转换后各影像与原始影像相比,本文算法获得影像的Mean和STD与原始影像完整一致,SD、RMSE和ERGAS均为0,CC为1,表明2幅影像完全相同,该计算结果与图4的分析结论相吻合;商业(软件)算法的Mean和STD的计算结果与原始影像相差最大,SD、RMSE、ERGAS和CC均与理想值相差较大,表明该结果与原始影像的相似性相差较大。在尺度转换过程中利用到本文算法时,其评价结果较单一商业(软件)算法结果的信息保持质量有所提高。此外,经另外实验表明当需转换的空间尺度为整数倍关系时,商业(软件)算法和本文算法均能对原始影像信息具有很好的保持特性,且二者的尺度转换结果完全相同;商业(软件)算法(除Matlab软件)在空间尺度转换过程中均要求原始影像的属性信息中包含对空间尺度的描述,否则其不能准确地生成指定空间尺度的影像。

本文提出最大公约数的遥感影像空间尺度转换方法,在影像尺度转换过程中很好地实现了遥感影像信息的保持,克服了专业软件对影像须包含空间分辨率信息的限制,实现了影像向任意尺度的转换。



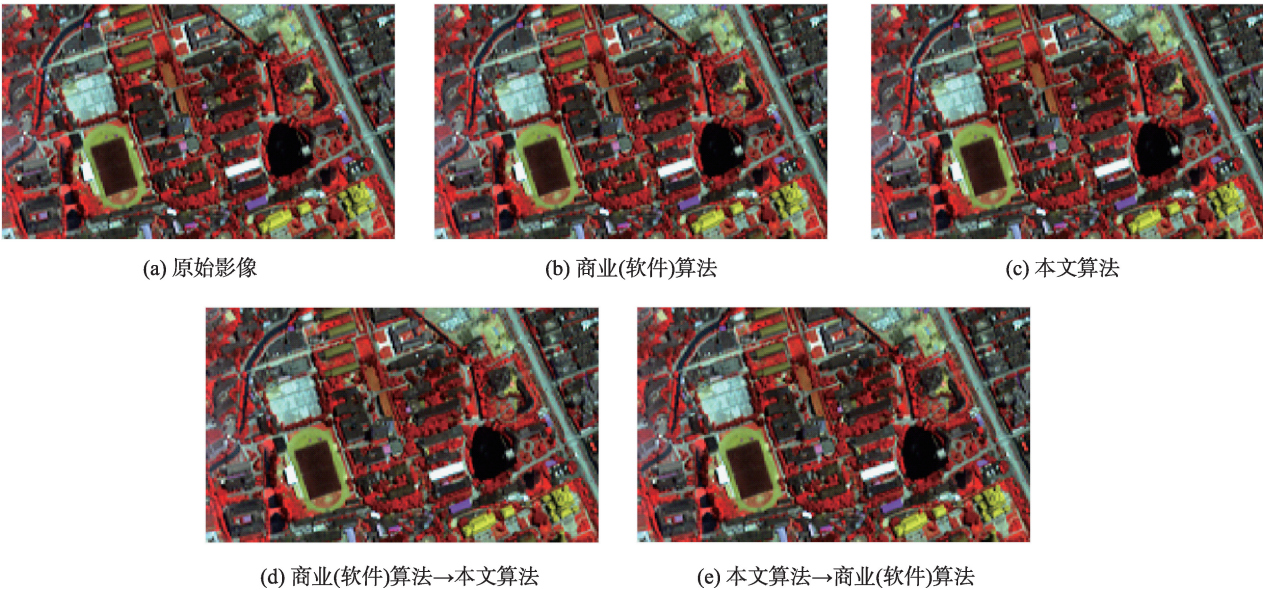


图3 IKONOS 原始影像与尺度转换后影像(尺度:2.1 m)

Fig. 3 Original and scale transformation imageries of IKONOS (Scale: 2.1 m)

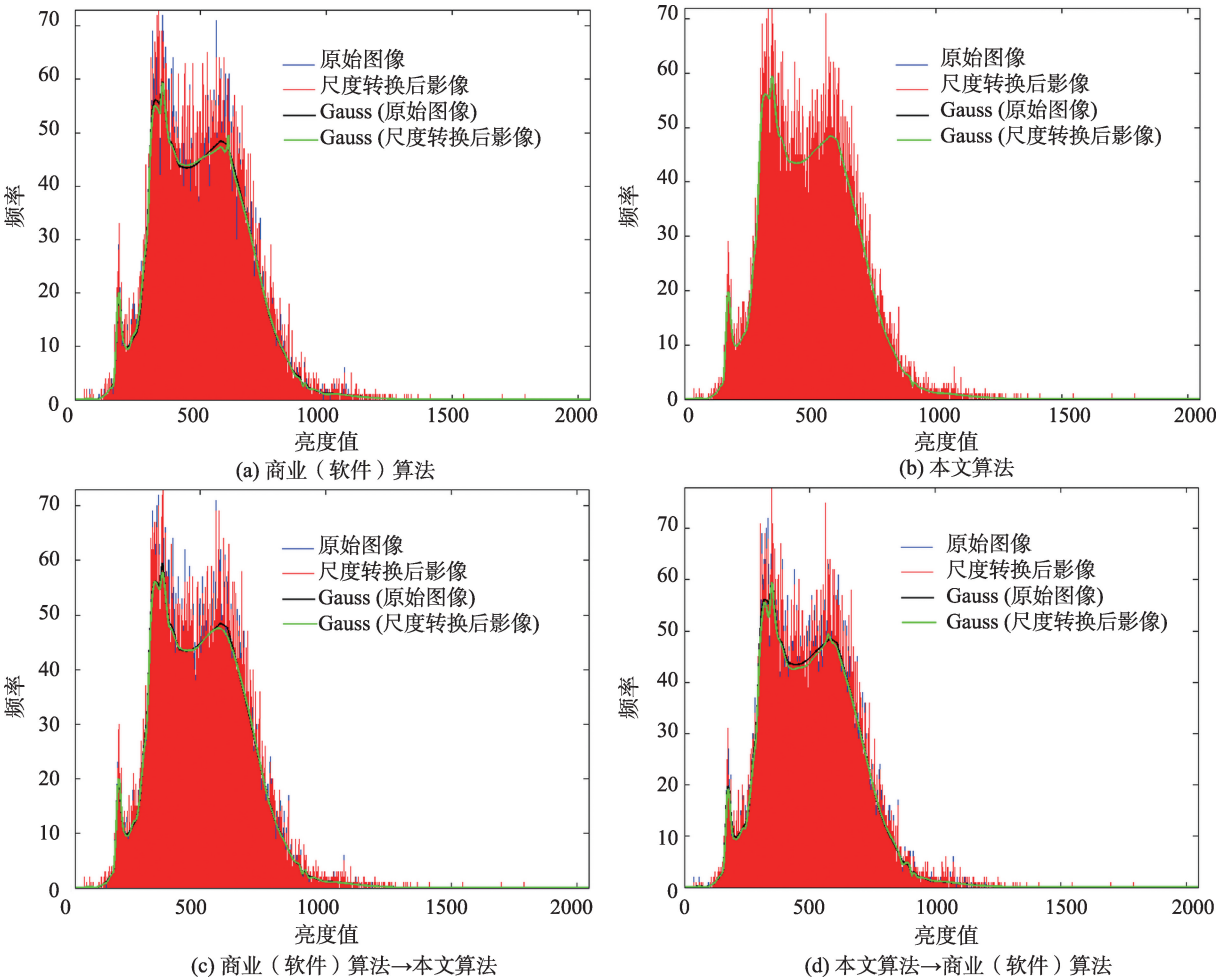


图4 IKONOS 原始影像与各尺度转换后影像直方图对比图(尺度:2.1 m)

Fig. 4 Comparison diagram of histogram of original and scale transformation imageries (Scale: 2.1 m)

表1 IKONOS原始影像与尺度转换后影像定量评价表(尺度: 2.1 m)

Tab. 1 Quantitative evaluation of the scale transformation algorithms (Scale: 2.1 m)

方法	波段	评价指标					
		Mean	STD	SD	RMSE	ERGAS	CC
原始影像	1	457.501	88.939	—	—	—	—
	2	499.650	134.548	—	—	—	—
	3	378.310	153.395	—	—	—	—
	4	504.025	174.153	—	—	—	—
商业(软件)算法	1	457.658	89.127	25.827	52.062	11.376	0.859
	2	499.956	134.772	40.693	77.405	15.482	0.835
	3	378.582	153.520	46.246	85.474	22.577	0.845
	4	505.493	174.515	68.193	116.083	22.964	0.779
本文算法	1	457.501	88.939	0.000	0.000	0.000	1.000
	2	499.650	134.548	0.000	0.000	0.000	1.000
	3	378.310	153.395	0.000	0.000	0.000	1.000
	4	504.025	174.153	0.000	0.000	0.000	1.000
商业(软件)算法→ 本文算法	1	457.324	88.954	4.622	19.211	4.201	0.977
	2	499.254	134.478	7.528	30.255	6.060	0.974
	3	377.748	153.117	8.740	35.321	9.350	0.973
	4	503.760	174.071	12.328	49.902	9.906	0.959
本文算法→ 商业(软件)算法	1	457.532	89.015	17.269	40.397	8.829	0.896
	2	499.827	134.672	27.521	61.326	12.272	0.895
	3	378.413	153.496	31.270	67.517	17.837	0.903
	4	505.196	174.238	47.259	91.853	18.218	0.860

表2 IKONOS原始影像与尺度转换后影像定量评价表(尺度: 0.6 m)

Tab. 2 Quantitative evaluation of the scale transformation algorithms (Scale: 0.6 m)

方法	波段	评价指标					
		Mean	STD	SD	RMSE	ERGAS	CC
原始影像	1	457.501	88.939	—	—	—	—
	2	499.650	134.548	—	—	—	—
	3	378.310	153.395	—	—	—	—
	4	504.025	174.153	—	—	—	—
商业(软件)算法	1	457.627	89.206	18.418	42.521	9.291	0.893
	2	499.810	134.880	29.469	64.073	12.820	0.886
	3	378.526	153.714	33.565	71.888	18.991	0.890
	4	504.407	174.265	49.750	100.117	19.848	0.834
本文算法	1	457.501	88.939	0.000	0.000	0.000	1.000
	2	499.650	134.548	0.000	0.000	0.000	1.000
	3	378.310	153.395	0.000	0.000	0.000	1.000
	4	504.025	174.153	0.000	0.000	0.000	1.000
商业(软件)算法→ 本文算法	1	457.683	89.222	15.082	35.732	7.807	0.925
	2	499.734	134.973	23.810	53.983	10.803	0.920
	3	378.419	153.820	27.105	59.563	15.740	0.916
	4	504.108	174.187	39.576	79.526	15.776	0.896
本文算法→ 商业(软件)算法	1	457.600	89.072	17.133	40.822	8.921	0.899
	2	499.773	134.750	27.604	61.405	12.286	0.898
	3	378.509	153.654	31.560	69.278	18.303	0.897
	4	504.139	174.248	46.784	97.203	19.281	0.844

表3 IKONOS原始影像与尺度转换后影像定量评价表(尺度: 1.5 m)  
Tab. 3 Quantitative evaluation of the scale transformation algorithms (Scale: 1.5 m)

方法	波段	评价指标					
		Mean	STD	SD	RMSE	ERGAS	CC
原始影像	1	457.501	88.939	—	—	—	—
	2	499.650	134.548	—	—	—	—
	3	378.310	153.395	—	—	—	—
	4	504.025	174.153	—	—	—	—
商业(软件)算法	1	457.537	88.939	19.808	43.908	9.597	0.893
	2	499.698	134.478	31.727	66.310	13.270	0.878
	3	378.434	153.370	36.363	74.707	19.741	0.882
	4	504.384	174.331	53.269	103.042	20.429	0.826
本文算法	1	457.501	88.939	0.000	0.000	0.000	1.000
	2	499.650	134.548	0.000	0.000	0.000	1.000
	3	378.310	153.395	0.000	0.000	0.000	1.000
	4	504.025	174.153	0.000	0.000	0.000	1.000
商业(软件)算法→ 本文算法	1	457.370	88.746	17.231	40.888	8.940	0.898
	2	499.360	134.352	27.665	61.670	12.350	0.895
	3	378.085	153.354	31.828	69.785	18.458	0.890
	4	503.460	174.258	46.045	95.918	19.052	0.849
本文算法→ 商业(软件)算法	1	457.456	88.861	18.961	42.756	9.348	0.901
	2	499.597	134.493	30.226	64.901	12.996	0.882
	3	378.419	153.359	34.431	71.901	19.015	0.889
	4	504.299	174.313	52.045	97.358	19.338	0.843

表4 IKONOS原始影像与尺度转换后影像定量评价表(尺度: 3 m)  
Tab. 4 Quantitative evaluation of the scale transformation algorithms (Scale: 3 m)

方法	波段	评价指标					
		Mean	STD	SD	RMSE	ERGAS	CC
原始影像	1	457.501	88.939	—	—	—	—
	2	499.650	134.548	—	—	—	—
	3	378.310	153.395	—	—	—	—
	4	504.025	174.153	—	—	—	—
商业(软件)算法	1	457.370	88.746	17.311	40.973	8.955	0.899
	2	499.360	134.352	27.686	61.452	12.297	0.896
	3	378.085	153.354	31.668	69.343	18.320	0.891
	4	503.460	174.258	46.766	97.201	19.279	0.845
本文算法	1	457.501	88.939	0.000	0.000	0.000	1.000
	2	499.650	134.548	0.000	0.000	0.000	1.000
	3	378.310	153.395	0.000	0.000	0.000	1.000
	4	504.025	174.153	0.000	0.000	0.000	1.000
商业(软件)算法→ 本文算法	1	457.468	89.035	11.533	34.388	7.517	0.935
	2	499.554	134.604	18.368	51.286	10.266	0.929
	3	378.162	153.450	21.182	58.116	15.368	0.910
	4	504.145	174.560	29.918	77.752	15.423	0.901
本文算法→ 商业(软件)算法	1	457.392	88.787	17.091	40.755	8.910	0.900
	2	499.400	134.412	27.427	61.422	12.299	0.896
	3	378.131	153.421	31.565	69.502	18.381	0.897
	4	503.449	174.265	45.571	95.478	18.965	0.850



## 4 结论

(1)最大公约数的空间尺度转换方法,很好地解决了遥感影像间空间分辨率为非整倍数关系时的空间尺度缩放和空间尺度统一问题,为多源、多尺度遥感影像间的数据比对研究提供了数据转换的基础。

(2)通过尺度转换后影像的定量评价和定性分析可知,本文所提的空间尺度转换算法,在非整倍数关系的尺度转换过程中,能很好地保持影像原始信息;在整倍数关系的尺度转换过程中,本文算法与商业(软件)算法具有相同的转换结果。

(3)最大公约数的空间尺度转换方法与其他常用尺度转换算法一样,在尺度下推(即下采样)过程中仅增加影像的尺寸大小,不会提高影像的空间分辨率;但在尺度上推(即上采样)过程中,在减少影像尺寸的同时,会降低影像的空间分辨率。

(4)本文算法原理简单且易于编程实现,可快速地解决遥感影像间空间分辨率的变换和统一问题。

### 参考文献:

- [1] 张景雄.空间信息的尺度、不确定性与融合[M].武汉:武汉大学出版社,2008.
- [2] Lam N, Quattrochi D A. On the issues of scale, resolution, and fractal analysis in the mapping sciences[J]. *Professional Geographer*, 1992,44(1):88-98.
- [3] 邬建国.景观生态学——格局、过程、尺度与等级[M].北京:高等教育出版社,2007.
- [4] 柏延臣,王劲峰.遥感信息不确定性研究:分类与尺度效应模型[M].北京:地质出版社,2003.
- [5] Justice C O, Markham B L, Townshend J R G, *et al.* Imagery degradation of satellite data[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1989,10(9):1539-1561.
- [6] Hay G J, Niemann K O, Goodenough D G. Imagery thresholds, image-objects, and upscaling: A multi-scale evaluation[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1997,62(1):1-19.
- [7] Bian L, Butler R. Comparing effects of aggregation methods on statistical and imagery properties of simulated imagery data[J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1999,65(1):73-84.
- [8] Kim G, Barros A P. Downscaling of remotely sensed soil moisture with a modified fractal interpolation method using contraction mapping and ancillary data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002,83(3):400-413.
- [9] Goward S N, Davis P E, Fleming D, *et al.* empirical comparison of Landsat 7 and IKONOS multispectral measurements for selected Earth Observation System (EOS) validation sites[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2003,88:80-99.
- [10] Wang G, Gertner G, Anderson A B. Up-scaling methods based on variability-weighting and simulation for inferring imagery information across scales[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2004,25(22):4961-4979.
- [11] 彭晓娟,邓孺孺,刘小平.遥感尺度转换研究进展[J].*地理与地理信息科学*,2004,20(5):6-14.
- [12] 布仁仓,李秀珍,胡远满,等.尺度变换的正确率分析[J].*生态学报*,2004,24(4):659-665.
- [13] 韩鹏,龚健雅,李志林,等.遥感影像空间尺度上推方法的评价[J].*遥感学报*,2008,12(6):965-971.
- [14] Hubert S, Schwarzer S, Jaquet J M. Imagery degradation of classified satellite images[J]. *The Open Remote Sensing Journal*, 2012,5:64-72.
- [15] 胡云锋,徐芝英,刘越,等.地理空间数据的尺度转换[J].*地球科学进展*, 2013,28(3):297-304.
- [16] 栾海军,田庆久,余涛,等.基于分形理论的NDVI连续空间尺度转换模型研究[J].*光谱学与光谱分析*,2013,33(7):1857-1862.
- [17] 布和敖斯尔,马建文,王勤学,等.多传感器不同分辨率遥感数字图像的尺度转换[J].*地理学报*,2004,59(1):101-110.
- [18] 徐芝英,胡云锋,刘越,等.空间尺度转换数据精度评价的准则和方法[J].*地理科学进展*,2012,31(12):1574-1582.
- [19] Shimazaki H, Shinomoto S. Kernel bandwidth optimization in spike rate estimation[J]. *Journal of Computational Neuroscience*, 2010,29:171-182.

## Scale Transformation Algorithm for Remote Sensing Imagery Based on Greatest Common Divisor

GAO Yonggang\* and XU Hanqiu

(1. College of Environment and Resources, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China;

2. Institute of Remote Sensing Information Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

**Abstract:** The abundant remote sensing data with various spatial, radiational and spectral resolutions from multi-platforms provide rich information sources for the study of land surface information changes at different scales. Scale variation and sensitivity have a great impact on the application of remote sensing imagery in different scientific fields. We proposed a transformation algorithm to unify the scales for comparing data at different scales. The method is a scale transformation algorithm based on the greatest common divisor (STAGCD). Firstly, the greatest common divisor (GCD) between two different spatial scales is calculated. Secondly, according to the GCD, a GCD image will be produced by resampling the original remote sensing image. Finally, the new scale image will be obtained according to certain intervals for row and column to choose data from the GCD image. Several scale transformation algorithms have been employed in the test of the scale unification for an IKONOS image, including STAGCD and some other algorithms from professional software packages, such as ER Mapper, ERDAS, Matlab and so on. The effectiveness of these algorithms has been evaluated based on the information keeping degree compared with the original remote sensing image. A total of six indicators have been used for quantitative evaluation of the scale transformed images. The histogram and probability density function of Gauss based on kernel bandwidth optimization have been used for visual interpretation of the scale transformed images. The results show that the STAGCD image has adequate ability for keeping the information of original image. When scaling-down, STAGCD only increases the image size, but cannot improve the image's spatial resolution. When scaling-up, STAGCD not only reduces the image size, but also decreases the image resolution. The STAGCD method is simple and can transform remote sensing imagery at different scales. The method provides an effective solution for the scale transformation between images without an integer multiple relationship.

**Key words:** multi-scale images; greatest common divisor; resampling; scale transformation; spatial scale

\*Corresponding author: GAO Yonggang, E-mail: yggao@fzu.edu.cn