

基于 DCT 变换的多光谱与全色影像融合方法

黄登山^{1,2}, 杨敏华¹, 赵玲³

(1. 中南大学信息物理工程学院, 湖南长沙 410083; 2. 湘潭大学能源工程学院, 湖南湘潭 411105; 3. 湖南艺术职业学院, 湖南长沙 410012)

摘要: 针对 IHS 融合法的融合影像相对于原多光谱影像光谱扭曲严重、小波变换融合法运算量大的缺点, 依据影像成像时传感器像素间的对应关系, 提出应用遥感影像空间分辨率比值关系对影像进行分块, 采用离散余弦变换与 IHS 变换相结合的融合方法进行多光谱影像与全色影像融合, 以提高遥感影像的应用能力。仿真实验表明, 该方法融合结果的光谱保持性与小波变换方法相近, 均优于 IHS 变换融合影像, 对全色影像空间信息集成能力稍弱, 但计算效率明显改善, 适合于对大数据量的遥感影像融合。

关键词: 遥感; 影像融合; IHS 变换; DCT 变换

中图分类号: TP750 文献标识码: A 文章编号: 1672-0504(2011)03-0017-04

0 引言

受卫星传感器存储空间、天空—地面数据传输速度及观测时同时进入传感器能量大小的限制^[1], 世界各国发射的资源遥感卫星都采用了不同空间分辨率、不同电磁波段配合观测的模式, 从早期的 SPOT 卫星到最新的 WorldView-2 卫星, 都拥有一个高分辨率的全色波段与数个低空间分辨率的多光谱波段。实际应用中, 人们常需要高空间分辨率的多光谱影像, 如土地利用分类、城市规划等, 这就需要对高空间分辨率全色影像与低空间分辨率的多光谱影像进行融合, 在近 30 年研究过程中, 产生了一个专有名词 Pair sharpening^[2] 来描述这一过程。

目前像素级遥感影像融合主要包括 IHS(Intensity-Hue-Saturation)变换、PCS(Principal Component Substitute)、小波变换及 Contourlet 变换^[2-5] 等方法。基于 IHS 变换与 PCS 的融合方法是通用的方法, 已被集成到 ENVI、ERMAP 等遥感影像处理软件, 这两种方法的优点是结构简单、运算量小, 适合应用在数据量庞大的遥感影像, 但是融合结果相对于原多光谱影像光谱特性扭曲严重; 小波变换及 Contourlet 变换融合法属于频率域融合方法, 融合影像在光谱保持性方面要优于前两种方法, 空间细节集成能力略弱, 但这两种方法最大的缺点在于对计算资源要求较高, 尤其是 Contourlet 变换, 随分解层数与方向数的增加, 所需存储空间与运算量呈指数形式增加, 导致其虽然在研究领域很受关注, 但一直不能被集成到遥感影像处理软件以应用于

实际工作。一般认为影像的空间细节信息包含在影像高频分量, 而光谱信息包含在低频分量。离散余弦变换(Discrete Cosine Transform)属于离散傅里叶变换的一种特殊形式, 能够将信号分解为不同频率的余弦信号之和, 并且运算速度很快, 但在影像融合方面的研究较少。本文在前人研究的基础上, 提出一种基于离散余弦变换的融合方法, 利用余弦变换可对信号进行不同频率的分解且运算速度快, 结合 IHS 变换完成多光谱影像与全色影像的融合。

1 基于 DCT 变换的多光谱与全色影像融合方法

1.1 IHS 变换

在众多颜色空间表示的方法中, IHS 模式最接近人类视觉模型, 也是一种应用普遍的融合方法, 它与 RGB 空间转换模式有多种计算方法, 包括三角形变换、圆柱体变换、球体变换及单六角锥变换等, 贾永红等对此进行了深入研究^[6], 本文选择三角形变换方式, 计算公式如下:

$$\begin{cases} I = \frac{R+G+B}{3} \\ S = 1 - \frac{3}{R+G+B}[\min(R, G, B)] \\ H = \begin{cases} 0 & \text{当 } B \leq G \\ 360 - \theta & \text{当 } B > G \end{cases} \end{cases} \quad (1)$$

其中:

$$\theta = \arccos \left[\frac{\frac{1}{2}[(R-G) + (R-B)]}{\sqrt{[(R-G)^2 + (R-B)(G-B)]^{1/2}}} \right]$$

对应的反变换为:

收稿日期: 2010-11-12; 修订日期: 2011-03-15

作者简介: 黄登山(1975-), 男, 博士研究生, 主要从事遥感影像处理方面研究工作。E-mail: huangds_em@163.com

$$\begin{cases} B = I(1 - S) \\ R = I \left[1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right] \\ G = 3I - (R + B) \end{cases} \quad \text{当 } 0^\circ \leq H < 120^\circ \quad (2)$$

$$\begin{cases} B = I(1 - S) \\ R = I \left[1 + \frac{S \cos(H - 120^\circ)}{\cos(60^\circ - (H - 120^\circ))} \right] \\ G = 3I - (R + B) \end{cases} \quad \text{当 } 120^\circ \leq H < 240^\circ \quad (3)$$

$$\begin{cases} B = I(1 - S) \\ R = I \left[1 + \frac{S \cos(H - 240^\circ)}{\cos(60^\circ - (H - 240^\circ))} \right] \\ G = 3I - (R + B) \end{cases} \quad \text{当 } 240^\circ \leq H < 360^\circ \quad (4)$$

1.2 余弦变换及在遥感影像融合中的应用

余弦变换是傅里叶变换的一种特殊情况,它能够把信号分解为不同频率的余弦信号。离散余弦变换的定义为:

$$F(u, v) = \frac{2}{N} c(u) c(v) \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} f(i, j) C_{2M}^{(2i+1)u} C_{2N}^{(2j+1)v} \quad (u, v = 0, 1, \dots, N-1) \quad (5)$$

式中:

$$\begin{cases} c(u) = c(v) = \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{当 } u = 0, v = 0 \\ c(u) = c(v) = 1, & \text{其余} \end{cases}$$

$$C_J^k = \cos \frac{\pi k J}{J}$$

反变换为:

$$f(i, j) = \frac{2}{N} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} c(u) c(v) F(u, v) C_{2M}^{(2i+1)u} C_{2N}^{(2j+1)v} \quad (i, j = 0, 1, \dots, N-1) \quad (6)$$

目前余弦变换被广泛应用于信号滤波、编码及特征提取等方面,但在影像融合方面的研究较少, Tang 等^[7,8]将余弦变换方法应用于多聚焦影像融合,李国新等^[9-11]将其应用于多光谱影像与全色影像融合,并对遥感影像整体进行余弦变换,通过选取高低频系数完成融合。贾林等将影像分为 64*64、128*128 大小的数据块再进行余弦变换,也是通过选择系数的方式完成融合。楚恒等^[11]在前人工作基础上,试探性的选用 2*2、4*4、8*8、16*16 等分割区域进行 DCT 变换,并提出 3 种融合模式。模式 1 为:

$$I_{new}(u, v) = \begin{cases} I(u, v) & u = 0, v = 0 \\ Pan'(u, v) & u \neq 0, v \neq 0 \end{cases} \quad (7)$$

模式 2、3 是对模式 1 的改进,具体为:

$$I_{new}(u, v) = \begin{cases} Pan'(u, v) + (E_1 - E_2) & u = 0, v = 0 \\ Pan'(u, v) & u \neq 0, v \neq 0 \end{cases} \quad (8)$$

$$I_{new}(u, v) = \begin{cases} Pan'(u, v) * \frac{E_1}{E_2} & u = 0, v = 0 \\ Pan'(u, v) & u \neq 0, v \neq 0 \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} E_1 = \frac{1}{\#A} \sum_{k \in A} I_k(0, 0) \\ E_2 = \frac{1}{\#A} \sum_{k \in A} Pan'_k(0, 0) \end{cases}$$

其中: A 为以正在处理的影像像素块为中心的 3*3 图像块局部区域,即为一个 9*9 的影像区域; E₁、E₂

是对融合区域低频分量进行了一次平滑滤波,通过相加(E₁-E₂)差值,弥补 I 分量与全色影像低频成分上可能存在的较大差异。

楚恒等^[11]将这 3 种算法实验结果与基于 IHS 变换小波变换的融合结果比较,认为 3 种方法的光谱保持性要优于 IHS 方法、BROVERY 方法,执行效率优于小波变换方法,并且不需要专门进行直方图配准。

1.3 本文方法原理

从 1.2 节分析可看出,楚恒等^[11]提出的算法未能就影像的分割进行深入探讨与理论分析,需要经过评比才能确定最优结果,分块大小存在随机性,不利于具体操作。不同空间分辨率传感器在采集数据时,遥感影像间的像素存在图 1 所示的对应关系,一个多光谱影像的像素在全色影像上应该有 n*n 个像素对应(n 为多光谱影像与全色影像空间分辨率的比值),如 IKONOS 卫星影像的空间分辨率比值为 4,那么一个多光谱影像的像素将会对应 4*4 个全色影像像素。从对空间实体的观测看,它们反映了同一空间实体的空间信息,适合采用 n*n 大小的分割策略进行融合,如采用 2*2、8*8 分割的融合策略,那么对于多光谱影像将会是 0.5*0.5、2*2 个像素参与融合,离散余弦变换对它们一起进行变换,在高低频信息不能确切分离的情况下,造成信息的混淆。为此本文考虑基于分辨率比值的分割策略进行融合,对于 IKONOS 多光谱影像,分辨率比值为 4,采用 4*4 的区域分割,而对于 TM 多光谱影像与 SPOT 全色影像,分辨率比值为 3,则应采用 3*3 的区域分割。具体融合步骤如下: 1) 对多光谱影像与全色影像进行配准,采样至同样大小; 2) 对多光谱影像进行 IHS 变换; 3) 将 I 分量与全色影像进行 n*n 大小分割,并对每个数据块进行 DCT 变换; 4) 对 I 分量与全色影像按照式(7)选择低频系数与高频系数; 5) 进行 IHS 反变换完成融合。

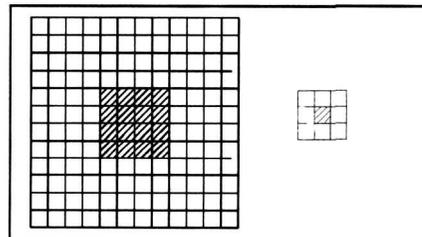


图 1 IKONOS 全色与多光谱影像像素对应示意图
Fig.1 Diagram of pixel to pixel of IKONOS panchromatic image and multi spectral images

2 实验验证与分析

为验证方法的有效性,选取 IKONOS 全色影像与多光谱影像、SPOT 全色影像与 TM 多光谱影像两组

数据进行融合, 空间分辨率分别为 1 m、4 m、10 m、28 m。为使融合结果评价更符合实际状况, 本文对原始影像均进行了退化处理, 使融合影像与原始多光谱影像的空间分辨率相同, 应用融合结果与真实影像进行比较以便评价影像融合的效果。其中多光谱影像被退化到 16 m、78.4 m 空间分辨率, 全色影像退化到 4 m、28 m 的空间分辨率, 这样融合后的多光谱影像将会是 4 m、28 m 空间分辨率。图 2、图 3 (见封 2) 为对 IKONOS、TM 卫星影像采用 IHS 融合、小波融合及本文方法融合的结果。

从视觉效果看, 图 2 中 3 种融合方法都较好地在全色影像的空间细节信息与多光谱影像的光谱信息集成, 融合影像图 2d~ 图 2f 在色调上接近多光谱影像, 空间细节上接近全色影像。相对于退化后的多光谱影像, 融合影像图 2e、图 2f 在色调上非常接近, 基本看不出光谱扭曲, 图 2d 色调偏暗, 存在严重的光谱扭曲; 融合影像空间细节均得到了明显的增强, 可以清晰地分辨出房屋、道路、河流、植被等地物边缘。相对于理想多光谱影像, 色调上的差异与退化后多光谱影像比较相同, 图 2d 存在明显的光谱扭曲, 而图 2e、图 2f 则无明显的色调偏差, 但在局部细节方面, 由于融合过程中没有光谱信息的补充, 影像放大后存在色调缺失, 不如理想多光谱影像逼真情况; 在空间细节方面, 融合影像不如理想多光谱影像清晰, 存在过多的空间细节特征。图 3 与图 2 情况类似, 不同的是 IHS 方法融合影像色调偏亮。

为了全面衡量本文方法的有效性, 本文采用相关系数、扭曲度及高频相关系数 3 种客观评价指标对融合影像做定量的比较分析。其中, 相关系数反映两幅影像间灰度信息的相关程度, 通过计算融合前后影像间的灰度相关系数, 可以判断影像在融合后的光谱保持程度, 若相关系数趋向 1, 说明光谱保持性好, 反之则差。计算公式为:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [F(x_i, y_j) - \bar{F}][G(x_i, y_j) - \bar{G}]}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [F(x_i, y_j) - \bar{F}]^2} \sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [G(x_i, y_j) - \bar{G}]^2}} \quad (10)$$

扭曲度(偏差)反映两幅影像间灰度信息的偏离程度, 通过计算融合前后影像间的扭曲度, 可以判断影像在融合后的光谱保持程度, 若扭曲度趋向于 0, 则说明光谱保持性好, 反之则差。计算公式为:

$$D_t = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |F(x_i, y_j) - G(x_i, y_j)| \quad (11)$$

高频相关系数可以反映两影像间空间结构的相关程度^[12], 用拉普拉斯算子做卷积运算抽取融合影

像的高频信息, 而后计算其间的相关系数, 其值越接近 1, 说明两幅影像的空间结构越相似。所用拉普拉斯算子为:

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

从表 1 可以看出: 1) 相关系数与扭曲度反映了融合影像相对于理想多光谱影像的光谱保持性, 本文方法与小波变换方法取得了基本一致的结果, 说明它们在光谱保持性方面能力相同; IHS 方法的光谱保持性最差, 远低于其他两种方法; 2) 高频相关系数体现了融合影像对全色影像的空间细节集成能力, 从文中可以看出, 小波融合方法在这方面最强, IHS 变换方法次之, 本文方法最差; 但本文方法相关系数与小波变换方法高频相关系数差距为 0.045, 相对于高频相关系数平均值 ((0.947 + 0.992 + 0.985) / 3 = 0.974) 为 4.6%, 说明 3 种方法的空间集成能力并无明显优劣关系。

表 1 IKONOS 融合影像客观评价指标
Table 1 Objective evaluation index of fusion images of IKONOS

融合算法	波段	与多光谱影像相关系数	扭曲度	高频分量相关系数
IHS 方法	B	0.530	0.279	0.997
	G	0.624	0.242	0.977
	R	0.689	0.183	0.981
	平均值	0.614	0.234	0.985
Wavelet+ IHS 方法	B	0.715	0.089	0.991
	G	0.767	0.087	0.999
	R	0.740	0.085	0.986
	平均值	0.740	0.087	0.992
DCT+ IHS 方法	B	0.719	0.087	0.947
	G	0.764	0.087	0.944
	R	0.732	0.086	0.951
	平均值	0.738	0.087	0.947
理想数值		1	0	1

表 2 与表 1 相比, 本文方法相关系数、扭曲度等指标优于小波方法、IHS 变换融合法, 高频分量相关系数结论与表 1 一致。

表 2 TM 与 SPOT 融合影像客观评价指标
Table 2 Objective evaluation index of fusion images of TM and SPOT

融合算法	波段	与多光谱影像相关系数	扭曲度	高频分量相关系数
IHS 方法	B	0.537	0.183	0.998
	G	0.434	0.160	0.995
	R	0.532	0.157	0.998
	平均值	0.501	0.167	0.997
Wavelet+ IHS 方法	B	0.652	0.154	0.993
	G	0.595	0.160	0.992
	R	0.652	0.160	0.993
	平均值	0.633	0.158	0.993
DCT+ IHS 方法	B	0.663	0.153	0.943
	G	0.611	0.145	0.939
	R	0.667	0.145	0.943
	平均值	0.647	0.148	0.942
理想数值		1	0	1

通过视觉比较与统计分析比较,本文方法在融合结果的光谱保持性方面优于 IHS 方法,与小波变换方法大致相同,在不同情况下存在不确定性,在对空间细节集成方面稍逊于小波融合方法,但本文融合方法计算效率明显优于小波融合方法。

3 结论

通常遥感影像数据量巨大,对融合方法的计算效率要求较高,本文根据原有的基于 DCT 变换的影像融合方法,结合遥感影像成像机理,提出根据融合影像空间分辨率比值对融合影像分块的思路,对遥感影像进行融合。实验选取了两组不同传感器遥感影像进行验证,结果表明本文方法拥有与小波融合方法相同的光谱信息保持能力,空间信息集成能力稍弱,但执行效率优于小波融合方法,适合于大数据量的遥感影像融合。

参考文献:

[1] ZHANG Y. Understanding image fusion[J]. Photogrammetric Engineer & Remote Sensing, 2004, 70(6): 657- 661.
 [2] POHL C, GENDEREN J L V. Multisensor image fusion in remote sensing: Concepts, methods and applications[J]. Interna-

tional Journal of Remote Sensing, 1998, 19(5): 823- 854.
 [3] SHAH V P, YOUNAN N H, KING R L. An efficient par sharpening method via a combined adaptive PCA approach and contourlets[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2008, 46(5): 1323- 1335.
 [4] RANCHIN T, WALD L. Fusion of high spatial and spectral resolution images: The ARSIS concept and its implementation[J]. Photogrammetric Engineer & Remote Sensing, 2000, 66: 49- 61.
 [5] 龚建周, 刘彦随, 夏北成, 等. 小波基及其参数对遥感影像融合图像质量的影响[J]. 地理与地理信息科学, 2010, 26(2): 6- 10.
 [6] 贾永红, 李德仁, 刘继林. 四种 IHS 变换用于 SAR 与 TM 影像复合的比较[J]. 遥感学报, 1997, 2(2): 103- 106.
 [7] TANG J. A contrast based image fusion technique in the DCT domain[J]. Digital Signal Processing, 2004, 14(3): 218- 226.
 [8] 楚恒, 朱维乐. 基于 DCT 变换的图像融合方法研究[J]. 光学精密工程, 2006, 14(2): 266- 273.
 [9] 李国新, 王汝霖, 王国宇, 等. 基于 DCT 的遥感图像融合[J]. 计算机应用研究, 2005, 22(4): 242- 243.
 [10] 贾林, 王国宇. 基于分块 DCT 的遥感图像融合方法[J]. 微计算机信息, 2005, 21(10X): 83- 84.
 [11] 楚恒, 王汝言, 朱维乐. DCT 域遥感影像融合算法[J]. 测绘学报, 2008, 37(1): 70- 76.
 [12] ZHOU J, CIVICO D L, SILANDER J A. A wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(4): 743 - 757.

A Fusion Method of Multi-spectral Images and Panchromatic Image Based on DCT Transform

HUANG Deng-shan^{1,2}, YANG Min-hua¹, ZHAO Ling³

(1. School of Inforphysics and Geomatics Engineering, Central South University, Changsha 410083;

2. Energy Engineering College, Xiangtan University, Xiangtan 411105;

3. Hunan Art Vocational College, Changsha 410012, China)

Abstract: To decrease the spectral distortion in the fusion of multi-spectral images and panchromatic image using intensity-hue saturation (IHS) transform and the complexity using wavelet transform, a method based on discrete cosine transform (DCT) is proposed in this paper. According to correspondence relation of pixel block to pixel block, remote sensing images are segmented via the spatial resolution ratio, then using DCT + IHS to fuse them. The fusion results show that the capacity of preserving spectral properties of the method in this paper is similar to the method based on wavelet transform, the integration of spatial details is weak, however the computational efficiency is improved significantly, and it is suitable for large amount image processing.

Key words: remote sensing; image fusion; IHS transform; DCT transform

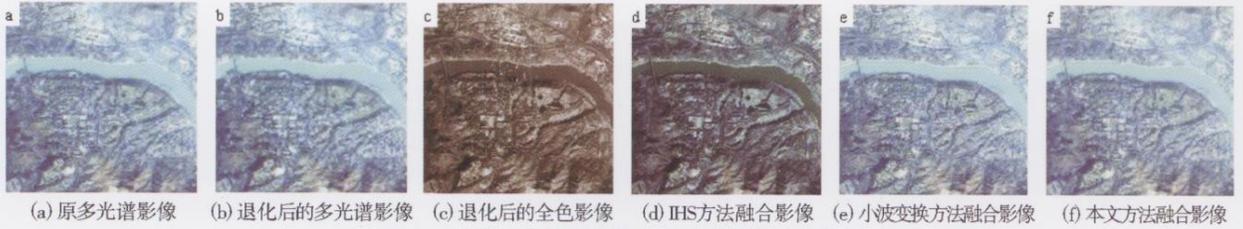


图 2 IKONOS 全色影像与多光谱影像融合结果
Fig. 2 Fusion results of panchromatic and multi-spectral images of IKONOS

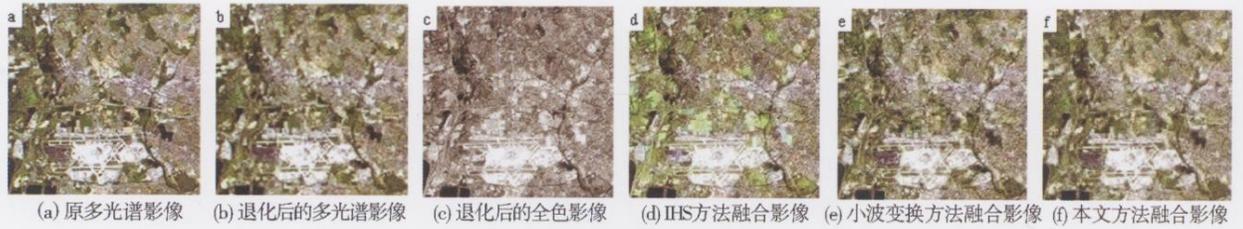


图 3 SPOT 全色影像与 TM 多光谱影像融合结果
Fig. 3 Fusion results of SPOT panchromatic and TM multi-spectral images



注: 黄色点为GPS轨迹记录点

图 1 货运车辆 GPS 部分轨迹分布
Fig. 1 Part of the freight vehicles GPS track distribution

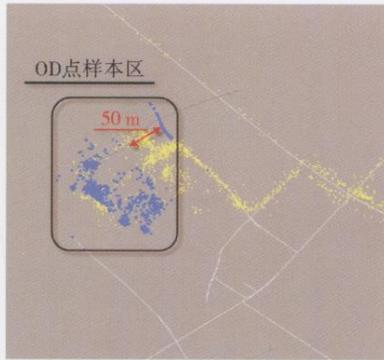


图 6 停留点簇与运动中线性轨迹区分
Fig. 6 Distinguishing of trajectories from the stopover points cluster and the linear motion

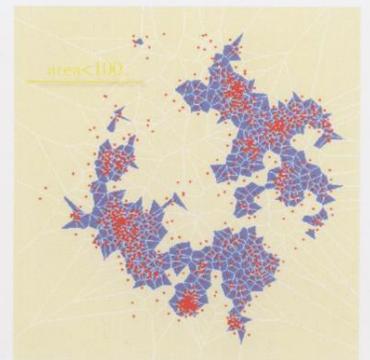


图 7 轨迹点簇通过泰森多边形生成中心
Fig. 7 The center generated from trajectory points cluster through the Thiessen polygon

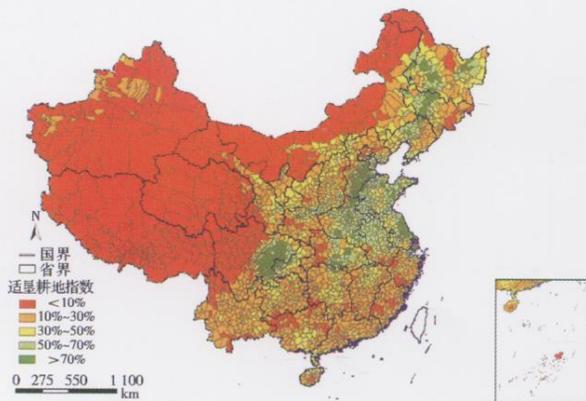


图 2 2006 年中国适垦耕地指数空间分布
Fig. 2 Spatial distribution of arable cultivated land in China in 2006

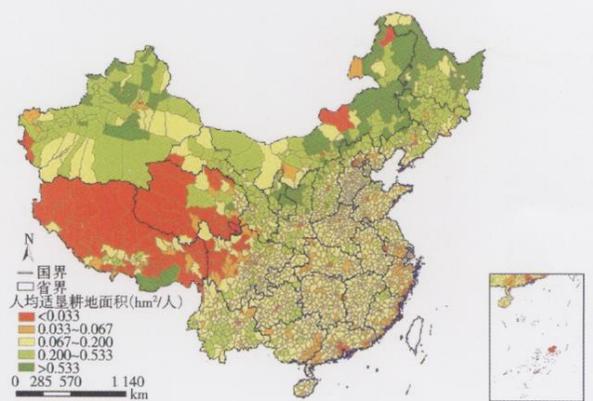


图 3 2006 年中国人均适垦耕地面积空间分布
Fig. 3 Spatial distribution of per capita arable cultivated land in China in 2006