

引用格式:Huang Yongxi,Li Xiaosong,Wu Bingfang,*et al.* Study of Data Fusion Model based on Improved ESTARFM[J]. Remote Sensing Technology and Application,2013,28(5):753-760. [黄永喜,李晓松,吴炳方,等. 基于改进的 ESTARFM 数据融合方法研究[J]. 遥感技术与应用,2013,28(5):753-760.]

基于改进的 ESTARFM 数据融合方法研究

黄永喜,李晓松,吴炳方,董泰锋

(中国科学院遥感与数字地球研究所数字地球重点实验室,北京 100094)

摘要:为解决高空间分辨率数据重访周期过长及云覆盖带来的数据短缺问题,以利用空间高分辨率数据进行地表动态变化监测,提出了一种基于 ESTARFM(Enhanced Spatial and Temporal Adaptive Reflectance Fusion Model)的改进方法,通过消除 BRDF(Bidirectional Reflectance Distribution Function)效应对融合数据的影响,及调整距离权的设置、窗口设置及转换系数的计算方法,提高融合精度和运算速度,以更好地实现高空间分辨率信息与高时间分辨率波谱信息的融合。研究表明:①在地表覆盖不变的区域,改进的 ESTARFM 与原方法得到的融合结果相比,前者取得了较高的融合精度,较后者在各波段都有不同程度的改进;②在地表覆盖变化的区域,改进的 ESTARFM 比原方法得到了更合理的地表变化融合结果,改进幅度较大,尤其是 green、red 波段。

关键词:ESTARFM;BRDF;数据融合;反射率

中图分类号:TP 75 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-0323(2013)05-0753-08

1 引言

遥感数据的获取受技术条件限制往往不得不对空间分辨率和重访周期进行权衡^[1],二者不可兼得。以植被监测应用最为广泛及成功的 Landsat TM 为例,其空间分辨率为 30 m,重访周期为 16 d,而云覆盖还将大大减少数据的可用性^[2-3]。NASA Terra 平台上的 MODIS 传感器可实现每天对全球任意地区的观测,最大程度地增加了极轨平台上无云影像数据的可获得性^[4]。然而,MODIS 数据的空间分辨率较低(250~1 000 m),无法满足在地表空间异质性较大区域监测土地覆盖及生态系统变化的需要。但是,若能将 Landsat TM 的高空间分辨率信息与 MODIS 的高时间分辨率波谱信息有效融合,可以充分利用 Landsat 和 MODIS 数据在空间、波谱、角度和时相上的优势^[5],得到时间序列的高空间分辨率遥感数据,这无疑将显著提高遥感在地表动态变化监测中的应用潜力。

尽管关于多源遥感数据融合方法的研究很多,但基于已获取高空间分辨率影像和高时间分辨率影像,对云覆盖时段和不能获取时段高空间分辨率影像进行预测的研究并不多见。STARFM 是当前应用较多的少数这种方法之一,该方法对 Landsat ETM+ 数据与多时相 MODIS 日反射率数据的融合,最高可实现每天的 Landsat ETM+ 反射率的预测^[6]。研究表明 STARFM 在监测植被季节性动态变化方面取得了一定的成功^[7]。但该方法没有解决融合数据反射率的方向性依赖问题,即 BRDF 效应问题,以及混合像元问题。针对 BRDF 效应问题,它对 Landsat 卫星数据的影响可能很小,而对像 MODIS 这样拥有较大视场角的传感器所造成的影响会很严重,尤其是在影像的边缘部分^[8-9]。Roy 等^[8]提出了一个半物理模型,该模型有效地解决了 BRDF 效应问题,并以 MODIS BRDF/Albedo 模型参数产品与 Landsat TM 数据为例对该模型进行了验证,这对 STARFM 来说是一个较好的改进。然

收稿日期:2012-04-13;修订日期:2013-04-26

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(41101399)。

作者简介:黄永喜(1984—),男,河南项城人,硕士研究生,主要从事遥感数据融合研究。E-mail:huangyongxi12@126.com。

通讯作者:李晓松(1981—),男,内蒙古赤峰人,副研究员,主要从事生态遥感应用研究。E-mail:lixs@irsa.ac.cn。

而,该模型假设 MODIS 像元尺度上的反射率变化可以代表相同范围内所有 Landsat 像元反射率变化,这往往并不能成立。针对混合像元的问题,Zhu 等^[10]提出了 ESTARFM 融合模型,通过假定一段时间内地物反射率为线性变化以及混合像元由不同地表覆盖线性组合而成,并引入一个转换系数,试图解决 STARFM 中混合像元问题,但是 ESTARFM 也没有对反射率的方向性依赖问题做任何处理,而且该方法异常耗时,无法进行较大区域的数据融合。

本文基于 ESTARFM 方法,通过对 MODIS 地表反射率进行 BRDF 校正,并对 ESTARFM 方法中转换系数、权重设计和移动窗口设置等进行改进,尝试解决上述方法所遇到的问题,以得到较高的数据融合精度,提高 ESTARFM 的运算效率,使其能适用于较大区域的数据融合。

2 数 据

2.1 TM 数据

本文采用了美国地质调查局发布的同一轨道号上 3 期 Landsat TM L1T 数据。利用 MODTRAN 模型对数据进行大气校正,并使用了每期数据的第 2、3 和 4 波段。TM 影像信息如表 1 所示。

表 1 TM 影像信息

Table 1 Information of TM acquisitions	
轨道号	日期
P124/R031	2009 年 6 月 25 日
	2009 年 8 月 12 日
	2009 年 8 月 28 日

2.2 MODIS 数据

MODIS 角度校正使用的是 16 d MODIS BRDF/Albedo 模型参数产品(MCD43A1),因为该产品可以计算与 TM 对应的 6 个波段的任意观测和太阳照射角度的地表反射率。为了便于比较,还使用了 MODIS 日地表反射率产品(MOD09GA5)。两者都使用了与 Landsat TM 相对应的 MODIS 第 1、2 和 4 波

段。所使用的 MODIS 产品信息如表 2 所示。

表 2 MODIS 产品信息

Table 2 Information of MODIS products		
编号	MCD43A1 日期范围	MOD09GA5 日期
h26v04	2009 年 6 月 28 日~7 月 4 日	2009 年 6 月 25 日
	2009 年 8 月 5 日~21 日	2009 年 8 月 12 日
	2009 年 8 月 21 日~9 月 6 日	2009 年 8 月 28 日

3 方 法

3.1 ESTARFM 数据融合方法

ESTARFM 是一种基于移动窗口的数据融合方法,考虑到从邻近的光谱相似像元所获得的辅助信息及这些像元本身的权重,在一个给定的移动窗口内,中心像元的预测反射率就可以表述为:

$$F(x_{w/2}, y_{w/2}, t_p, B) = F(x_{w/2}, y_{w/2}, t_m, B) + \sum_{i=1}^N W_i \times V_i \times (C(x_i, y_i, t_p, B) - C(x_i, y_i, t_m, B)) \quad (1)$$

其中:($x_{w/2}, y_{w/2}$) 为中心像元位置, w 为窗口大小, (x_i, y_i) 为第 i 个光谱相似像元位置, N 为光谱相似像元个数, B 为波段, V_i 为转换系数, t_m 为影像已知高空间分辨率影像获取时间, t_p 为要预测的高空间分辨率影像对应时间。权重 W_i 为:

$$W_i = (1/D_i) / \sum_{i=1}^N (1/D_i) \quad (2)$$

$$D_i = (1 - R_i) \times d_i \quad (3)$$

$$d_i = 1 + \sqrt{(x_{w/2} - x_i)^2 + (y_{w/2} - y_i)^2} / (w/2) \quad (4)$$

其中: R_i 为第 i 个光谱相似像元与其相应低空间分辨率像元的相关系数。

为使结果更准确,可以使用两期数据计算 ($x_{w/2}, y_{w/2}$) 点的反射率,结果如下:

$$F(x_{w/2}, y_{w/2}, t_p, B) = T_m \times F_m(x_{w/2}, y_{w/2}, t_m, B) + T_n \times F_n(x_{w/2}, y_{w/2}, t_n, B) \quad (5)$$

其中: $F_m(x_{w/2}, y_{w/2}, t_p, B)$ 和 $F_n(x_{w/2}, y_{w/2}, t_p, B)$ 分别为 t_m 和 t_n 时刻的观测数据融合得到的 t_p 时刻的反射率, T_m 和 T_n 分别为其权重。

$$T_k = \frac{1 / \left| \sum_{j=1}^w \sum_{l=1}^w C(x_i, y_i, t_k, B) - \sum_{j=1}^w \sum_{l=1}^w C(x_i, y_i, t_p, B) \right|}{\sum_{k=m,n} \left(1 / \left| \sum_{j=1}^w \sum_{l=1}^w C(x_i, y_i, t_k, B) - \sum_{j=1}^w \sum_{l=1}^w C(x_i, y_i, t_p, B) \right| \right)} \quad (6)$$

3.2 ESTARFM 方法的改进

3.2.1 BRDF 效应校正

本文采用 Ross-Li 模型^[11]进行 MODIS 数据的 BRDF 效应校正,该模型是一个各向同性参数和两

个以观测和照射几何关系为参数的函数(或称为核)的加权和。它的理论基础是地表反射率可以描述为 3 种基本散射类型的加权和,各向同性散射、辐射传输类型的体散射和几何光学表面散射。该模型已经

被证明较为适合描述全球陆表各种覆盖类型的地表反射率的各向异性特征^[11-12]。

本文采用该模型对 MODIS 相关产品进行 BRDF 校正,使其太阳照射角和卫星观测角与同时相的 TM 数据一致。其中,太阳照射角使用以 TM 影像的地理经纬度和 TM 获取时刻为参数的天文模型来计算^[13-14]。卫星观测角度通过先计算 WGS84 地球模型表面上每一个坐标点的法向量,然后计算每一个大地坐标点到卫星位置的单位向量,给定卫星平台高度,最后用三角测量公式计算观测天顶角和方位角^[8]。

Ross-Li 模型原理为:假设波段为 λ ,卫星观测向量为 Ω ,太阳照射向量为 Ω' ,其反射率为:

$$\rho(\lambda, \Omega, \Omega') = f_{\text{iso}}(\lambda) + f_{\text{vol}}(\lambda) K_{\text{vol}}(\Omega, \Omega') + f_{\text{geo}}(\lambda) K_{\text{geo}}(\Omega, \Omega') \quad (7)$$

其中: $K_i(\Omega, \Omega')$ 为 Ross-Li 模型的核, $f_i(\lambda)$ 为波段模型参数。

3.2.2 ESTARFM 融合规则的改进

对于影像数据融合来说,融合规则的选择和优化是数据融合的核心^[15],所以,对 ESTARFM 算法的改进就可以从其融合规则入手。ESTARFM 的融合规则主要是其权重设计、转换系数及所采用的窗口大小,本文通过对这 3 项的调整改进 ESTARFM。

原方法继承了 STARFM 关于窗口设置的方式,在相对均质性区域,采用了一个 1 500 m×1 500 m 的窗口,如果要取得相同数量的光谱相似像元,在异质性较大的区域,可能就要采用更大的窗口,而且原方

法弱化了空间距离权重的影响,这些不仅造成了窗口内光谱相似像元反射率变化信息的平均化,不利于地表变化信息的获取,也大大增加了需要计算的光谱相似像元数量,从而极大地增加了运算量,使该方法不宜于进行大范围的数据融合。本文对 ESTARFM 的改进时缩小了移动窗口,采用 150 m×150 m 大小的移动窗口。同时,在窗口内,对于离中心像元近的光谱相似像元赋予更大的权重,将空间距离权的计算方式改为:

$$d = 10^{1+\sqrt{(x_{w/2}-x_i)^2+(y_{w/2}-y_i)^2}/(w/2)} \quad (8)$$

另外,ESTARFM 对每个低空间分辨率像元计算一个转换系数,本文认为这是不必要的。因为一方面绝大多数低空间分辨率像元为混合像元,即使每个低空间分辨率像元内计算一个转换系数也只能代表一个低空间分辨率像元区域的平均状况,另一方面,对大窗口内每个低空间分辨率像元计算一个转换系数也增加了运算时间。如果缩小移动窗口,那么不仅符合 ESTARFM 原方法的要求,所得到的转换系数也更能反映小区域的特点,还能节省运算时间,所以,本文将转换系数的计算改为每个窗口内计算一个(如图 1 所示)。图 1 为一块影像重叠区域,大方格表示低空间分辨率像元,小方格表示高空间分辨率像元,黑色小方格表示光谱相似像元,虚线框表示窗口大小。转换系数计算方法为:对窗口内高低空间分辨率光谱相似像元进行线性回归,所得回归直线的斜率即是该窗口内的转换系数。

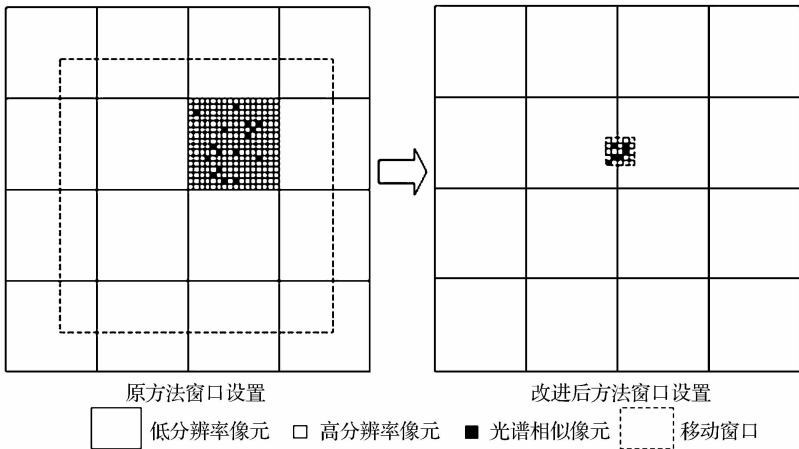


图 1 转换系数计算的改变

Fig. 1 Change of calculation of conversion coefficient

4 结果与分析

以地表覆盖变化与地表覆盖不变两种区域类型

为例,使用 2009 年 6 月 25 日与 2009 年 8 月 28 日的 TM 和 MODIS 数据与 2009 年 8 月 12 日的 MODIS 数据对 2009 年 8 月 12 日的 TM 地表反射率进

行构建,采用改进后的 ESTARFM 与原方法进行数据融合,并对结果进行精度对比。

4.1 地表覆盖不变的区域

为说明 ESTARFM 对原方法的改进效果,本文采用影像上一块 12 km×15 km 的地表变化较小的区域为研究区,对方法精度进行对比分析。

图 2 给出了融合所使用的 3 期 TM 数据和融合所得的反射率。表 3 是 3 个波段融合结果与 8 月 12 日真实反射率的平均绝对差与平均差的对比。由表 3 可以看出:①改进的 ESTARFM 所得到的融

合结果比原方法更接近于真实的地表反射率。所使用的 green、red 和 NIR 波段的融合结果与真实地表反射率的平均绝对差分别从 0.0098、0.0158 和 0.0161 降到了 0.0061、0.0084 和 0.0151,尤其在 green 和 red 波段降幅明显;②原方法对地表反射率数值的估计在各波段都偏高,而改进后的 ESTARFM 融合结果虽稍微偏高,但平均差却远远低于原方法得到的结果,更接近于 0。改进后的 ESTARFM 融合结果与真实地表反射率的平均差在 3 个波段分别只有-0.0024、-0.0015 和 0.0012。这说明

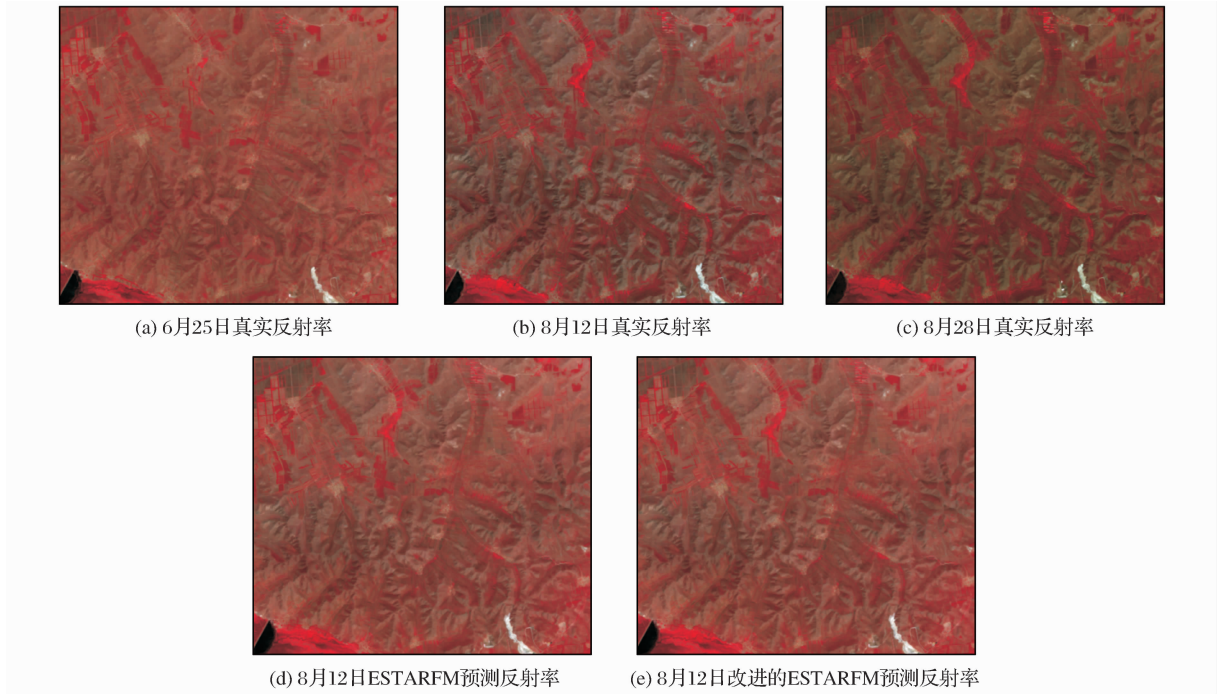


图 2 真实反射率和预测反射率比较

Fig. 2 Comparison of real and predicted reflectance

表 3 8 月 12 日预测反射率与真实反射相比的平均绝对差和平均差

Table 3 Comparison of average absolute difference and difference of predicted reflectance compared to real reflectance of August 12

波段	平均绝对差		平均差	
	ESTARFM	改进的 ESTARFM	ESTARFM	改进的 ESTARFM
green	0.0098	0.0061	-0.0090	-0.0024
red	0.0158	0.0084	-0.0150	-0.0015
NIR	0.0161	0.0151	-0.0053	0.0012

本文所采用的对原方法的改进是合理的。

图 3 显示了改进后的 ESTARFM 与原方法融合结果和真实地表反射率的相关性散点图。表 4 显示了两种方法所得反射率与真实地表反射率相关性的统计结果。由图 3 和表 4 可以明显看出,改进后的 ESTARFM 与原方法所得到的结果相比,前者更接近

于真实地表反射率。在 green、red 和 NIR 波段,前者所得结果与真实值的相关系数分别达到了 0.9150、0.9316 和 0.8654,而后者在各波段只分别有 0.9115、0.9090 和 0.8346,这个结论与表 4 中的统计结果一致。另外,改进前后的 ESTARFM 融合结果中,NIR 波段与真实地表反射率的相关性都比前两个波段小。

可能的原因是, BRDF 校正后的 MODIS 数据虽能更准确地反映地表反射率, 但由于多次反射, 该波段对植被信息非常敏感, 植被与非植被的区别也较明显, TM 影像在 30 m 尺度上所反映出来的细节信息并不

能在 MODIS 数据 500 m 尺度上反映出来, 在使用改进的 ESTARFM 进行数据融合时, 造成了 MODIS 像元内植被与非植被反射率变化信息的平均化, 使变化信息获取不准确, 预测结果与真实值有出入。

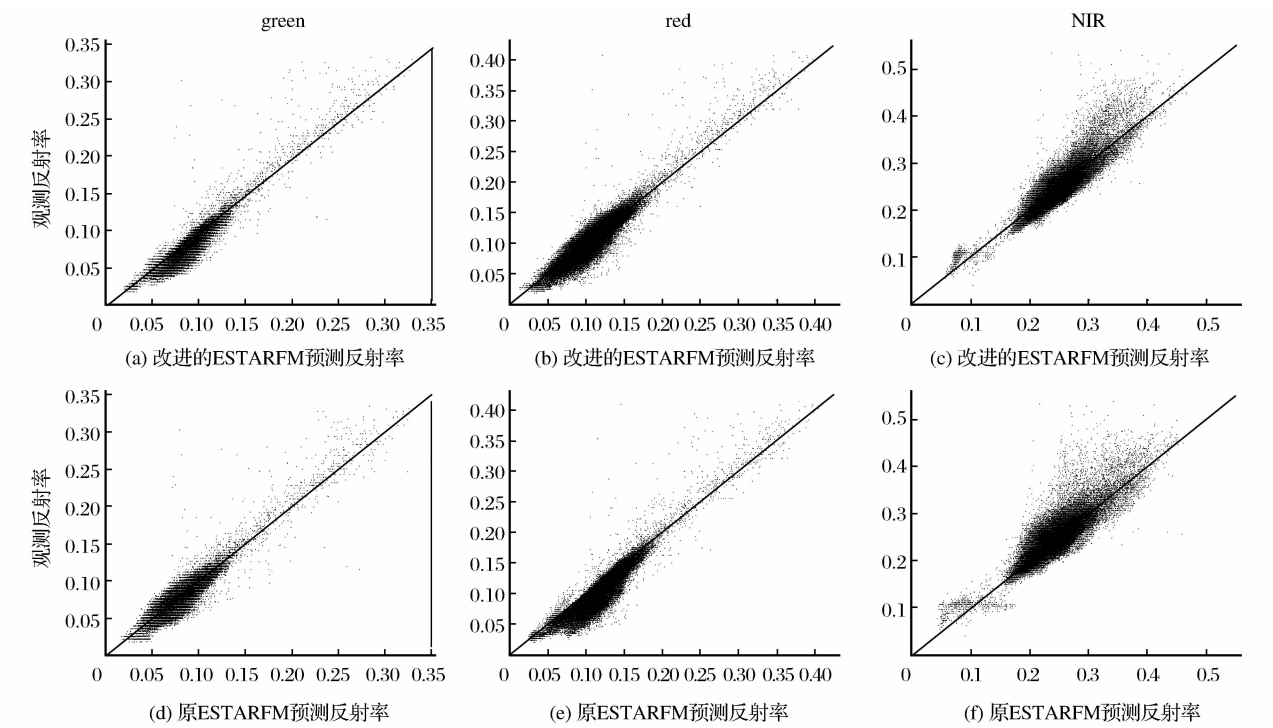


图 3 (a)~(c)为改进的 ESTARFM 对绿、红和近红外波段预测和真实反射率散点图;
(d)~(f)为原始的 ESTARFM 对绿、红和近红外波段预测和真实反射率散点图

Fig. 3 (a)~(c)scatter plots of real reflectance and predicted ones by improved ESTARFM for green, red and NIR band;
(d)~(f)scatter plots of real reflectance and predicted ones by original ESTARFM for green, red and NIR band

表 4 预测反射率与真实反射率的一致性比较

Table 4 Comparison of agreement of predicted reflectance with real reflectance

波段	ESTARFM			改进的 ESTARFM		
	b	a	R	b	a	R
green	0.7825	0.0252	0.9115	0.8338	0.0148	0.9150
red	0.7537	0.0391	0.9090	0.8156	0.0195	0.9316
NIR	0.6993	0.0737	0.8346	0.6890	0.0828	0.8654

4.2 地表覆盖变化的区域

为说明改进的 ESTARFM 对原方法的改进效果, 本文采用影像上一块 10.5 km×13.5 km 的地表覆盖有变化的农田为研究区, 对方法精度进行对比分析。

图 4 显示了 3 期真实地表反射率与两种方法融合所得 8 月 12 日地表反射率的对比。由图 4 可以看出, 6 月 25 日与 8 月 12 日之间可能由于夏粮收割和秋季作物的生长, 研究区出现了地表覆盖的变化。而且在这些变化区域内, 改进的 ESTARFM 取

得融合结果比原方法得到的结果在视觉效果上更合理, 这在影像上圆形的农田区域尤为明显。在两种方法的预测结果中可以看出: 改进的 ESTARFM 方法预测结果中圆形农田区域的色调与真实影像上更相近, 而原方法的预测结果中圆形农田区域的色调比真实影像上要浅。

表 5 为 3 个波段融合结果与 8 月 12 日真实反射率的平均绝对差与平均差的对比。从中可以看出: ①在有地表覆盖变化的农田区, 改进的 ESTARFM 在各波段均有不同程度的改进。平均绝对差在 green、

red 和 NIR 波段分别从 0.0178、0.0238 和 0.0198 降到了 0.0081、0.0114 和 0.0177,这表明改进后的 ESTARFM 所得融合结果更接近于地表反射率的实际;

②原方法的融合结果在各波段的估计值都偏高,而改进后的 ESTARFM 所得融合结果在该区域虽稍微偏高,但平均差绝对值大大减小,更接近于 0。

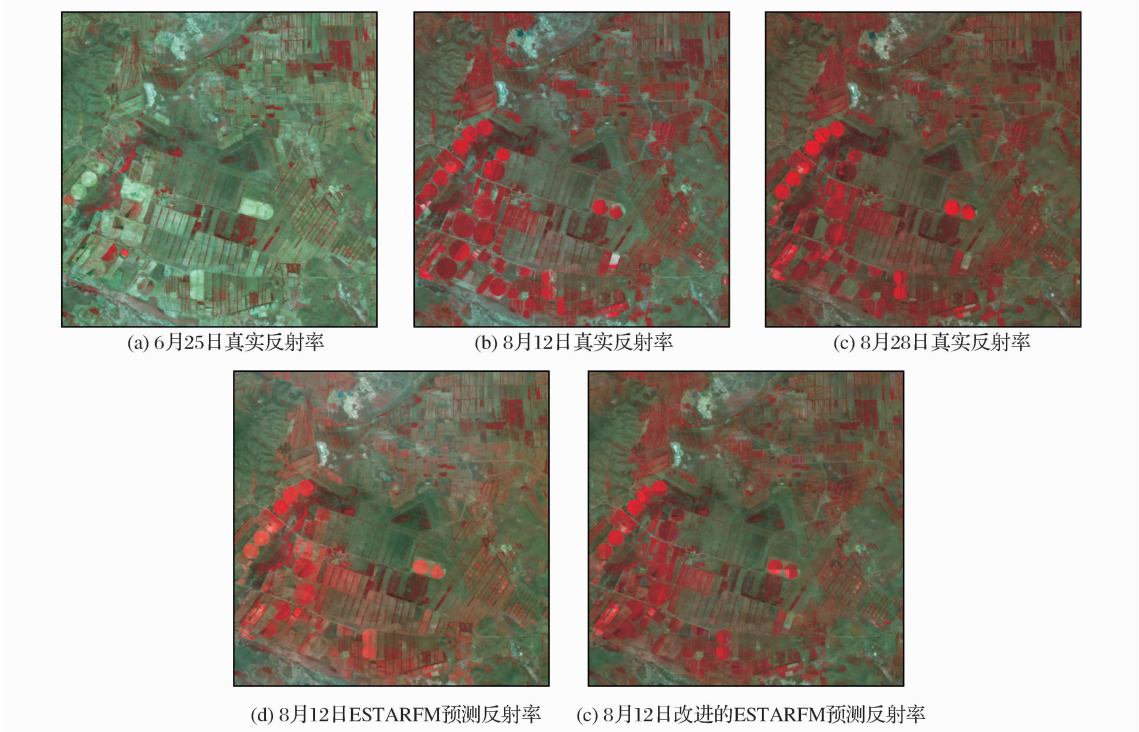


图 4 真实反射率与预测反射率的比较

Fig. 4 Comparison of real and predicted reflectance

表 5 8 月 12 日预测反射率与真实反射相比的平均绝对差和平均差

Table 5 Comparison of average absolute difference and difference of predicted reflectance compared to real reflectance of August 12

波段	平均绝对差		平均差	
	ESTARFM	改进的 ESTARFM	ESTARFM	改进的 ESTARFM
green	0.0178	0.0081	-0.0155	-0.0026
red	0.0238	0.0114	-0.0205	-0.0035
NIR	0.0198	0.0177	-0.0072	0.0019

图 5 显示了改进后的 ESTARFM 与原方法融合结果和真实地表反射率的相关性散点图。表 6 显示了该区域两种方法融合所得反射率与真实地表反射率相关性的统计结果。从表 6 可以看出,虽然农田区域有大量的地表覆盖变化,但改进的 ESTARFM 与原方法相比,融合结果仍取得了较高的相关性,各波段的相关系数都高于 0.8。在 green 和 red 波段相关性改进尤其明显,NIR 波段相关系数虽稍有下降,但拟合直线的斜率却有所改进。

5 结 语

本文采用了Ross-Li 模型对 ESTATFM 融合

所使用 MODIS 数据进行 BRDF 校正,使其观测角和太阳照射角度都校正到 TM 获取时的角度,并对 ESTARFM 本身的距离权及转换系数的计算方法进行调整,并大大缩小了移动窗口的尺寸。从研究结果来看,可以得出以下结论:

(1)改进的 ESTARFM 较原方法在地表覆盖没有变化的区域,各个波段的融合结果都更接近于地表反射率的实际。不管是从平均绝对差和平均差、还是从相关性来看,改进后方法得到的结果与原方法相比有不同程度的改进。

(2)改进的 ESTARFM 较原方法在地表覆盖变化的区域取得了更高的融合精度,从而可以更合理

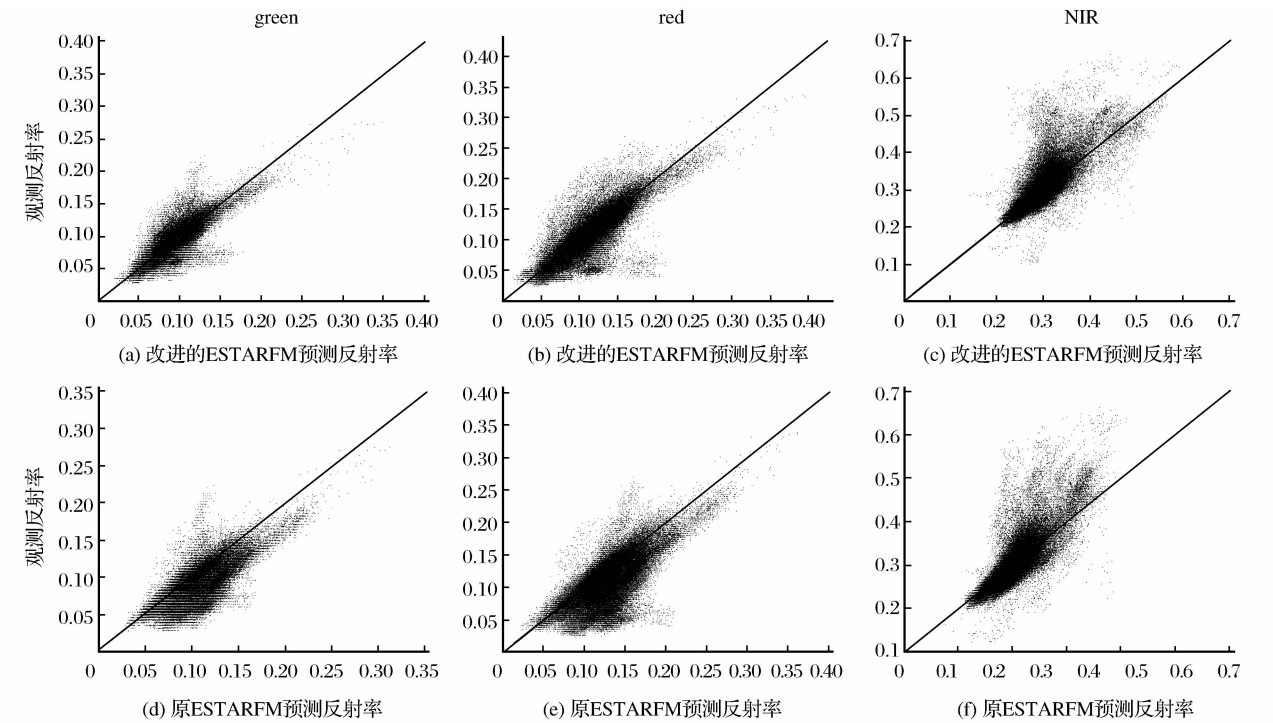


图 5 (a)~(c)为改进的 ESTARFM 对绿、红和近红外波段预测和真实反射率散点图;
(d)~(f)为原始的 ESTARFM 对绿、红和近红外波段预测和真实反射率散点图

Fig. 5 (a)~(c)scatter plots of real reflectance and predicted ones by improved ESTARFM for green、red and NIR band;
(d)~(f)scatter plots of real reflectance and predicted ones by original ESTARFM for green、red and NIR band

表 6 预测反射率与真实反射率的一致性比较
Table 6 Comparison of agreement of predicted reflectance with real reflectance

波段	ESTARFM			改进的 ESTARFM		
	b	a	R	b	a	R
green	0. 6737	0. 0438	0. 6830	0. 7825	0. 0215	0. 8512
red	0. 5897	0. 0653	0. 6927	0. 7905	0. 0264	0. 8600
NIR	0. 5943	0. 1243	0. 8406	0. 6181	0. 1083	0. 8108

地取得地表覆盖的变化,这将有助于在数据缺失的情况下,研究生长期内的地表植被动态变化。

(3)原 ESTARFM 方法在各波段的融合结果中都出现了对反射率估计偏高的现象,而改进的 ESTARFM 得到的融合结果与真实反射率的平均差几乎接近于 0。

(4)改进的 ESTARFM 较原方法在提高了融合精度的同时,由于大大减少了光谱相似像元的搜索区域,运行速度有较大提高,使其有可能被用于较大区域长时间序列数据融合。

(5)使用 BRDF/Albedo 模型参数产品既可以融合得到每旬的融合数据,也解决了使用 8 d 或者日地表反射率数据时不能同时处理 MODIS 的 BRDF 效应问题。

但是,该方法在整个融合区域设置了一个窗口

内类别数,如果能在较大的区域,比如整个中国范围内,进行数据融合时,设置一个变化的窗口内类别数,以适应不同区域地表状况的变化,可能将对改进数据融合的精度有所裨益。另外,如果地表覆盖发生了前后两期 TM 都没有记录到的变化,那这种变化可能不会被准确得预测出来。所以,该方法在进行较大区域数据的融合时仍存在改进空间。

参考文献(References):

[1] Price R D,King M D,Dalton J T. Earth Science Data for All: EOS and the EOS data and Information System[J]. Photogrammetric Engineering&-Remote Sensing, 1994, 60 (3): 277-285.
[2] Ju J,Roy D P. The Availability of Cloud-free Landsat ETM+ Data over the Conterminous United States and Globally[J]. Remote Sensing of Environment,2008,112:1196-1211.

- [3] Williams D L, Goward S, Arvidson T. Continuity of Landsat Observations; Short Term Considerations[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2006, 115: 747-751.
- [4] Justice C O, Giglio L, Korontzi S. The MODIS Fire Products [J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 83: 244-262.
- [5] Pohl C, Genderen J L Van. Multisensor Image Fusion in Remote Sensing: Concepts, Methods and Applications[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(5): 823-854.
- [6] Gao F, Masek J, Schwaller M, *et al.* On the Blending of the Landsat and MODIS Surface Reflectance: Predicting Daily Landsat Surface Reflectance[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2006, 44(8): 2207-2218.
- [7] Hilker T, Wulder M A, Coops N C. A New Data Fusion Model for High Spatial and Temporal-Resolution Mapping of Forest Disturbance based on Landsat and MODIS[J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113: 1613-1627.
- [8] Roy D P, Ju J, Lewis P, *et al.* Multi-temporal MODIS-Landsat Data Fusion for Relative Radiometric Normalization, Gap Filling, and Prediction of Landsat Data[J]. Remote Sensing of Environment, 2008, 112: 3112-3130.
- [9] Wang Y, Lyapustin A, Privette J L. Assessment of Biases in MODIS Surface Reflectance Due to Lambertian Approximation[J]. Remote Sensing of Environment, 2010, 114: 2791-2801.
- [10] Zhu X L, Chen J, Gao F. An Enhanced Spatial and Temporal Adaptive Reflectance Fusion Model for Complex Heterogeneous Regions[J]. Remote Sensing of Environment, 2010, 114: 2610-2623.
- [11] Lucht W, Schaaf C B, Strahler A H. An Algorithm for the Retrieval of Albedo from Space Using Semiempirical BRDF Models[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2000, 38(2): 977-998.
- [12] Privette J L, Eck T F, Deering D W. Estimating Spectral Albedo and Nadir Reflectance Through Inversion of Simple BRDF Models with AVHRR/MODIS-like Data[J]. Journal of Geophysical Research, 1997, 102: 29,529-29,542.
- [13] Standish E M, Newhall X X, Williams J. Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac[M]. Mill Valley, CA: University Books, 1992, 279-374.
- [14] Ali I, Bonanni P G, Al-Dhahir N. Doppler Applications in LEO Satellite Communication System [M]. New York: Kluwer Academic Publishers, 2002: 1-24.
- [15] Li Xiaochun. The Study of Multi-source Remote Sensing Data Fusion Technology and Application[D]. Zhengzhou: The PLA Information Engineering University, 2000. [李小春. 多源遥感影像融合技术及应用研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2000.]

Study of Data Fusion Model based on Improved ESTARFM

Huang Yongxi, Li Xiaosong, Wu Bingfang, Dong Taifeng

(Key Laboratory of Digital Earth Science, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China)

Abstract: In order to solve the problem of data shortage resulting from long revisit period and cloud coverage in high spatial resolution imagery so as to effectively capture vegetation dynamics in their growing season, this paper put forward a method to improve ESTARFM (Enhanced Spatial and Temporal Adaptive Reflectance Fusion Model). The method eliminates the impact that BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function) has on the fused data, reset the size of moving window, the weight of geographic distance, and improving the accuracy of the result and running speed of the program so as to integrate high spatial information and high temporal spectral information better. The result shows that: ① in the area of unchanged land cover, compared with the original method, improved ESTARFM can produce higher accuracy. In each band, there is some improvement; ② in the area of changed land cover, compared with the original ESTARFM, the precise improved significantly, especially in green and red bands. The results are more reasonable.

Key words: ESTARFM; BRDF; Data fusion; Reflectance