

А.С. Василейский
АНО "Космос - Наука и Техника", E-mail: asvas@wildcat.iki.rssi.ru

Требования к процедуре совмещения

Эффективность исследования характеристик земной поверхности и происходящих на ней процессов по результатам дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) зачастую может быть достигнута только при совместной обработке видеоданных, получаемых в разное время, разными съемочными системами, с разных КА, в различных спектральных зонах. Оперативная совместная обработка разных изображений одного и того же участка земной поверхности требует их автоматического координатного совмещения с высокой точностью.

Алгоритм совмещения

Для высокоточного и надежного автоматического совмещения разновременных и разноканальных изображений одинакового пространственного разрешения разработан площадной алгоритм, основанный на применении опорных точек (ОТ) и включающий следующие этапы:

- Предварительная обработка совмещаемого и базового изображений;
- Выбор однородной сети ОТ в местах хорошо различимых деталей на базовом изображении и расчет их ожидаемого положения на совмещаемом изображении;
- Идентификация ОТ на основе метода наименьших квадратов (МНК). На этом шаге положение выбранных ОТ уточняется таким образом, чтобы они указывали на соответствующие детали совмещаемого и базового изображения;
- Многоступенчатая верификация полученного набора ОТ по остаточным ошибкам и путем сравнения текстуры в окрестностях соответствующих ОТ с использованием преобразования Уолша;
- Субпиксельное уточнение местоположения ОТ по МНК;
- Оценка функции преобразования по МНК;
- Финальное трансформирование совмещаемого изображения в проекцию базового путем передискретизации.

Результаты экспериментов

При автоматическом совмещении по разработанному алгоритму двух реальных изображений одного и того же участка местности, полученных съемочной системой SPOT-XS с интервалом 2 месяца, идентифицированы 106 ОТ. Средняя ошибка совмещения после трансформирования в 30 проверочных ОТ составила 0.3 пиксела.

Для достоверной оценки точности разработанного алгоритма проведена серия экспериментов по определению межканальных сдвигов в изображениях, полученных разными многоканальными съемочными системами.

В качестве совмещаемого и базового изображения поочередно выбиралось каждое из изображений отдельных каналов.

Получаемые при автоматическом совмещении по разработанному алгоритму наборы ОТ позволили оценивать величины горизонтальных и вертикальных взаимных сдвигов для каждой пары каналных изображений.

Соответствующие пиксели шести каналов изображения, полученного съемочной системой Landsat-TM.

Y	Ch 1	Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 5	Ch 7
Ch 1	-0.0002	-0.1090	-0.0914	-0.0709	-0.4853	-0.3719
Ch 2	0.1303	0.0009	-0.0130	0.0261	-0.4179	-0.2813
Ch 3	0.0999	0.0167	-0.0010	0.0334	-0.3829	-0.2583
Ch 4	0.0354	-0.0351	-0.0516	0.0008	-0.3984	-0.2652
Ch 5	0.4989	0.4434	0.3796	0.4223	-0.0006	0.1105
Ch 7	0.3935	0.2994	0.2688	0.3016	-0.1096	-0.0003

X	Ch 1	Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 5	Ch 7
Ch 1	0.0007	-0.0084	-0.0613	-0.0351	-0.6102	-0.6201
Ch 2	-0.0501	-0.0007	-0.0434	-0.0131	-0.5639	-0.5914
Ch 3	0.0450	0.0257	0.0000	0.0166	-0.5662	-0.5696
Ch 4	-0.0005	0.0023	-0.0331	-0.0008	-0.5942	-0.5971
Ch 5	0.5922	0.5399	0.5356	0.5483	-0.0006	0.0159
Ch 7	0.5613	0.5334	0.5306	0.5423	-0.0124	-0.0004

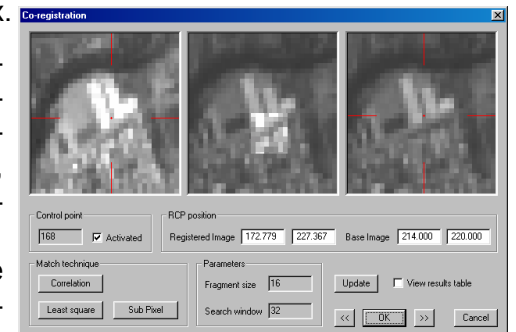
Найденные величины горизонтальных и вертикальных сдвигов для каждой пары каналов изображения, полученного съемочной системой Landsat-TM.

Программное обеспечение

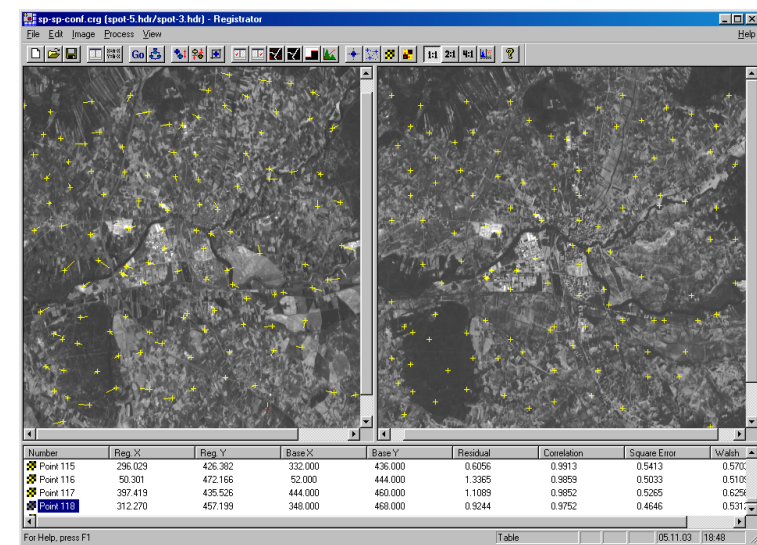
Специализированная программа "Registrator", разработанная в ИКИ РАН, предназначена для прецизионного совмещения изображений и может функционировать как в интерактивном, так и в автоматическом режимах.

При интерактивном совмещении оператор может воспользоваться автоматизированными инструментами, облегчающими процесс распознавания ОТ.

В автоматическом режиме программа "Registrator" производит совмещение без участия оператора в соответствии с разработанным алгоритмом.



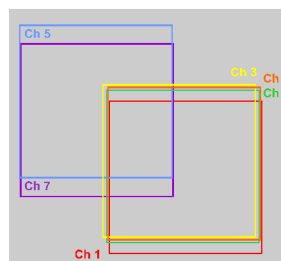
В левом и правом окнах диалога совмещения ОТ оператор может устанавливать позицию ОТ на фоне фрагментов совмещаемого и базового изображений. При нажатии на соответствующие кнопки положение ОТ уточняется автоматически по корреляционному алгоритму или МНК.



В левом и правом рабочих окнах программы "Registrator" отображаются совмещаемое и базовое изображения. Показаны автоматически идентифицированные ОТ. Желтые векторы (ув. x10) отражают величины остаточных ошибок ОТ. В нижнем окне отображается таблица опознанных ОТ.



Изображение с МСУ-Е с заметными краевыми эффектами, вызываемыми существенным несведением каналов.



Горизонтальные и вертикальные сдвиги разных каналов относительно первого канала для изображений, полученных многоканальными съемочными системами Ресурс-01 МСУ-Е, SPOT-XS, Landsat-TM и Landsat-ETM.

Landsat-TM

	X	Y
Ch 1	0.0000	0.0000
Ch 2	-0.0107	-0.0929
Ch 3	-0.0421	-0.1086
Ch 4	-0.0168	-0.0716
Ch 5	-0.5885	-0.4946
Ch 7	-0.5834	-0.3755

Ресурс МСУ-Е

	X	Y
Ch 1	0	0
Ch 2	0.4402	1.6838
Ch 3	1.2344	2.7919

Landsat-ETM

	X	Y
Ch 1	0	0
Ch 2	0.0715	0.0260
Ch 3	0.0200	0.0070
Ch 4	-0.0600	-0.0849
Ch 5	0.0127	0.1291
Ch 6	-0.4348	0.5799
Ch 7	0.0391	0.1447
Ch 8	-0.4135	0.5743

Spot-XS

	X	Y
Ch 1	0	0
Ch 2	0.0353	-0.2861
Ch 3	-0.2363	-0.2817
Ch 4	-0.2625	-0.0850

Средние ошибки оценки межканальных сдвигов и средние ошибки определения индивидуальных ОТ для разных съемочных систем.

Съемочная система	кол-во кан.	Ошибка сдвигов	Ошибки отдельных ОТ
Landsat-TM	6	0.016	0.11
Ресурс МСУ-Е	3	0.022	0.22
Landsat-ETM	7	0.090	0.35
SPOT-XS	4	0.046	0.27

Ошибки оценок межканальных сдвигов для большинства съемочных систем - **2-5%** размера пиксела. Ошибки определения отдельных ОТ составили **10-35%** размера пиксела.