Изменение оптического увеличения и пространственного разрешения снимков ДДЗ для задач космической диагностики объектов техносферы

В.К. Шухостанов, А.Г. Цыбанов, Л.А. Ведешин

Отделение «Диагностика и безопасность техносферы», РАЕН, 119991, Москва, Ленинский проспект, 6 E-mail: v-p@diatech.ru

На обзорных снимках высокого разрешения и локальных снимках сверхвысокого разрешения проведен поиск оптического увеличения для оптимального отображения и наилучшего выявления объектов техносферы – в частности трубопроводных систем. Показаны преимущества космических снимков разного пространственного разрешения для космической диагностики техносферы. На разных стадиях программного изменения (ухудшения) пространственного разрешения космического снимка сверхвысокого разрешения оценивается степень дешифрирования объектов техносферы известных размеров и находится рубеж идентификации объекта.

Введение

В космической диагностике объектов техносферы используются в основном космические снимки высокого и сверхвысокого разрешения. В общем случае использование сверхвысокого пространственного разрешения до 2 м позволяет решать локальные задачи по выявлению, дешифрированию и идентификации промышленных объектов. Высокое пространственное разрешение (до 30 м) обеспечивает обзорность исследуемой территории, позволяя оценить местность в ином масштабе. При этом иногда появляются новая информация об исследуемом объекте в целом. Использование космических снимков более низкого разрешения в космической диагностике объектов техносферы считается нецелесообразным.

В общем случае любой космический снимок несет огромный объем информации, которая, очевидно, представлена не явным образом и не полностью. Например, исследуя подземные трубопроводы, мы сталкиваемся с информацией в виде проекции информационных полей, окружающих трубопровод. Подобную информацию очень трудно извлечь явным образом, которая априори ограничивается техническими возможностями съемочных систем, методами обработки изображений и восприятием человека. Причем все эти рубежи ограничения - от получения информации на сенсоре до построения зрительного образа - взаимосвязаны. Управляя пространственным разрешением и оптическим увеличением можно получать дополнительную информацию, касающуюся космической диагностики объектов техносферы - как дополнение к существующим способам обработки изображений.

Исследование изменения пространственного разрешения

Исследование проводилось на космических снимках, полученных с систем Landsat-7 и QuickBird. Пространственное разрешение изменялось двумя способами. Первый способ заключался в программном изменении (увеличении) размера пикселя с выравниванием контраста. Второй способ – подбор снимков разных космических систем на исследуемую территорию.

Оптическое увеличение для первого метода устанавливалось равным для каждой процедуры изменения пространственного разрешения. За начальное оптическое увеличение принималось увеличение на грани появления пиксельной структуры на космическом снимке QuickBird с про-

странственным разрешением 0,6 м. Некоторые примеры подобного исследования характерных промышленных объектов показаны на рис. 1 - 3.

На рис. 1 показано изображение морского причала, состоящего из линейной части (стрелы) длиной около 130 м – шириной менее 3 м и четырех площадок 7х8 м. Стрела наклонена под углом около 45⁰ к линиям пиксельной сетки.



Рис. 1. Изображение морского причала с различным пространственным разрешением (a - 0, 6 м, 6 - 1, 2 м, 8 - 1, 8 м, 2 - 2 м)

Из рис. 1 просматривается процесс практически полной деградации изображения при изменении пространственного разрешения от 0,6 м до 2 м. Ухудшение разрешения вдвое (Рис. 1б) незначительно сказывается на точной идентификации всех элементов причала. Площадку при этом составляют около 45 пикселей, а ширина стрелы – около 2 пикселей. Дальнейшее ухудшение разрешения до 1,8 м (Рис. 1в) приводит к началу размытия границ площадки и стрелы. На площадках детали уже не различаются, но границы различимы. При этом ширина стрелы составляет до 2 пикселей, а площадка вмещает до 20 пикселей. С последующим ухудшением разрешения до 2 м площадки перестают уверенно идентифицироваться и выглядят как бесформенные образования на стреле. Стрела продолжает и будет далее идентифицироваться при дальнейшем ухудшении разрешения, однако морской причал в целом уже не определяется.

На рис. 2 изображены фрагменты системы открытых трубопроводов нефтеперерабатывающего завода, при этом исследуется два участка. На первом участке (1) имеется 4 параллельно проходящих трубопровода (связка). Два средних из них – надземные трубопроводы, два боковых – наземные. Диаметр трубопроводов более 1 м. На втором участке изображены отдельные фрагменты надземных трубопроводов-отводов диаметром менее 2 м, проходящие практически параллельно линиям пиксельной сетки.

Как видно из рис. 26 на пространственном разрешении в 1 м трубопроводы в связке на участке 1 еще можно идентифицировать как отдельные, но уже начинается процесс размытия границ трубопроводов. При ухудшении разрешения (Рис. 2в) до 1,2 м трубопроводы в связке на участке 1 практически слились. Можно сказать, что это связка трубопроводов, но конкретное число трубопроводов определить невозможно. На участке 2 при этом разрешении уверенно идентифицируются 3 трубопровода. Ширина всех трубопроводов на этом разрешении – около 1 пикселя. При укрупнении пикселя до 1,8 м (Рис. 2г) все трубопроводы в связке слились в единую линию и идентифицируются как единый трубопровод. При дальнейшем укрупнении пикселя до 4 м на участке 1 картина существенно не будет меняться. На участке 2 при ухудшении пространственного разрешения до 3 м (Рис. 2е) хорошо идентифицируются 3 трубопровода. Причем именно на пространственном разрешении 3 м трубопроводы на участке 2 достаточно явно проявляются в виде параллельных полос с минимальными посторонними шумами. Но уже при дальнейшем ухудшении разрешения (Рис. 2ж) трубопроводы смешиваются с окружающей средой.



Рис. 2. Изображение фрагментов (1 и 2) системы открытых трубопроводов с различным пространственным разрешением (a - 0,6 м, 6 - 1 м, в - 1,2 м, r - 1,8 м, $\partial - 2,4$ м, e - 3 м, ж - 3,6 м)

На рис. 3 показан фрагмент автомобильной асфальтированной дороги шириной в среднем 6 м с хорошо определяемым краем.



Рис. 3. Изображение фрагмента асфальтированной автомобильной дорогой с различным пространственным разрешением (а – 0,6 м, б – 1,8 м, в – 2,4 м, г – 3,6 м,)

На подобных объектах снижение контраста и проявление пиксельной структуры начинает заметно проявляться с ухудшением разрешения до 1,8 м (Рис. 3б), однако и обочина и дорога уверенно идентифицируются на этом разрешении (ширина дороги при этом составляет около 5 пикселей). При размере пикселя 2,4 м (Рис. 3в) уже не идентифицируется край дороги, дорога определяется в виде следа шириной около 3 пикселей. На разрешении в 3,6 м (Рис. 3г) происходит слияние дороги с окружением, дорога определяется неточно в виде небольшого следа шириной в 1 – 2 пикселя.

На основании проведенных исследований можно отметить следующее:

1. Минимальное количество пикселей, составляющее локальный точечный объект должно быть не менее 25 – 30; только в этом случае можно говорить о предварительной идентификации объекта. Это подтверждается геометрическим моделированием пиксельной генерализации [1]. Т.о. для космических снимков, полученных с различных систем (при максимальном пространственном разрешении) минимальные размеры идентифицируемых объектов будут составлять:

1.1. QuickBird ~ 3х3 м.

1.2. Ikonos ~ 5х5 м.

1.3. Landsat ~ 70х70 м.

2. В большинстве случаев хорошо идентифицируются *линейные протяженные объекты*, пиксельной ширины. Однако известны случаи выявления линейных объектов (трубопроводов и дорог) субпиксельной ширины, т.е. когда ширина дороги или трубопровода меньше разрешения космического снимка.

3. Трубопроводы, идущие параллельно (в связке), практически всегда определяются как связка (без определения точного количества трубопроводов), если их ширина составляет до 0,8 пикселя изображения. Это распространяется на связки, где расстояние между трубопроводами не более их собственного диаметра.

4. Отдельные трубопроводы, размещенные на космическом снимке параллельно линиям пиксельной сетки, выявляются на гораздо худшем разрешении (до 0,5 пикселя изображения), чем если бы они были наклонены под углом.

Использование космических снимков исследуемой территории, полученных с разных систем, но «приведенные» к одному пространственному разрешению качественно подтверждает полученные результаты (Рис. 4в данном случае космический снимок с системы QuickBird загрублен до пространственного разрешения Landsat-7 – 14,25 м).



Рис. 4. Изображение нефтеперерабатывающего завода с пространственным разрешением 14,25 м (a – Landsat-7, б – загрубленный QuickBird,)

Особенности использования космических снимков высокого и сверхвысокого пространственного разрешения в космической диагностике объектов техносферы

Специфика технологии космической диагностики объектов техносферы предполагает использование космических снимков высокого и сверхвысокого пространственного разрешения, каждые из которых обладают определенными преимуществами в конкретных задачах. Использование снимков с таких космических систем сверхвысокого разрешения как Ikonos и QuickBird несмотря на свое уникальное разрешение и детальность иногда оказывается нецелесообразным. Речь идет, прежде всего, о многокилометровых трубопроводных трассах, которые проходят по протяженным территориям.

При проведении космической трассодиагностики на острове Сахалин для выявления трассы с требуемой точностью достаточным оказалось использование космического снимка, полученного с Landsat-7 (Рис. 5).

Космические снимки сверхвысокого разрешения незаменимы при выявлении точечных и небольших линейных объектов, а также их многочисленных узлов и элементов в условиях индустриального окружения (Рис. 6). Кроме того, они эффективно используются для уточнения информации, полученной с систем более низкого разрешения.



Рис. 5. Трасса трубопровода (показана стрелкой) на космическом снимке Landsat-7



Рис. 6. Фрагмент трубопроводной системы нефтеперерабатывающего завода на снимке сверхвысокого пространственного разрешения

Однако излишняя детальность снимков сверхвысокого разрешения иногда приводит к их перегруженности информацией и это мешает визуальному восприятию объектов. Исследуемый объект «теряется» в окружающей среде (Рис. 7б). Снимки более низкого разрешения генерализируют изображение, маскируя мелкие детали (Рис. 7а).

Решая задачи трассодиагностики нужно рационально подходить к выбору космического снимка, руководствуясь протяженностью трассы, характеристиками объекта и точностью выявления в каждом конкретном случае.



Puc. 7. Трасса трубопровода (показана стрелкой) на космическом снимке Landsat-7 (a) и QuickBird (б)

Выбор оптимального увеличения космических снимков для задач космической диагностики объектов техносферы

Космические снимки, полученные с различных систем и используемые в космической диагностике объектов техносферы, должны характеризоваться оптимальным увеличением, которое позволит наиболее эффективно раскрыть детальность снимка и обеспечит наилучшее визуальное восприятие. Детальность изображения может характеризовать такой параметр, как *приведенный масштаб* [2]. Этот параметр учитывает разрешающую способность человеческого глаза (R_r) и разрешение на местности (R_M) и определяется [1]:

 $M_{\pi p} = 2 R_{M} R_{r}$

(1)

Однако для задач космической диагностики объектов техносферы этот параметр не подходит и удобен для сопоставления снимков с различных систем.

Детальность можно приблизительно оценить сопоставлением разрешения космического изображения типичному масштабу карты [3] (Табл. 1).

Разрешение цифрового изображения, м	Типичный масштаб карты
1000	1:1500000
30	1:80000
20	1:50000
10	1:24000
5	1:10000
1	1:2000

Подобное сопоставление подходит для получения твердой копии (отпечатка) изображения, которое может быть сделано из цифрового снимка.

Для задач космической диагностики объектов техносферы проведено исследование пределов увеличения фрагментов космических снимков, полученных с систем сверхвысокого (Ikonos, QuickBird) и высокого (Landsat) пространственного разрешения. В качестве показателя увеличения использовалась шкала масштаба (scale) в программной среде Erdas Imagine с дублированием в

ArcGis. В итоге был экспериментально определен диапазон масштабов на различных космических системах для решения конкретных задач космической диагностики техносферы (Табл. 2).

Космическая система, разрешение м	Задача	Диапазон масшта- ба
Landsat-7, 28,5	Обзорная трассодиагностика	$1:55000 \div 1:90000$
Синтезированный Landsat-7, 14,25	Локальная и обзорная трассодиагностика	1:30000 ÷ 1:50000
QuickBird, 0,6	Локальная, точечная диагностика объектов техносферы	1:900 ÷ 1:1500
	Локальная трассодиагностика	$1:2000 \div 1:10000$
Ikonos, 1	Локальная, точечная диагностика объектов техносферы	1:1200 ÷ 1:2000
	Локальная трассодиагностика	$1:2000 \div 1:10000$

Таблица 2. Оценка масштаба спутниковых снимков для задач космической диагностики объектов техносферы

Литература

- 1. Кравцова В.И. Генерализация аэрокосмического изображения: континуальные и дискретные снимки // М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. 256 с.
- 2. Гонин Г.Б. Количественная оценка обзорности и генерализации изображения при дешифрировании аэроснимков Земли // Материалы V съезда географического общества СССР. Л., 1970. С. 22-23.
- 3. *Москаленко И.В.* Новости рынка ДЗЗ // Доклад на 11 конференции пользователей ESRI & Leica Geosystems в России и странах СНГ. Голицыно. 2005.