

М.А. Болсуновский

В 1990 г. окончил Киевское высшее инженерное радиотехническое училище. С 2004 г. работает в компании «Совзонд», в настоящее время – заместитель генерального директора.

Перспективные направления развития дистанционного зондирования Земли из космоса

В современном стремительно меняющемся мире мы становимся свидетелями непрерывных революционных технологических изменений. Если XX век уже стал веком цифровых технологий, то XXI век можно смело назвать веком космических цифровых технологий.

Значительное место в космических технологиях все больше занимает дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) из космоса. Данные ДЗЗ стали важным источником для решения практических задач государственного, регионального и местного управления, мониторинга природных и техногенных объектов и явлений. Растет число потребителей. Космические снимки активно используются не только в научных и производственных целях, но и в повседневной жизни людей.

Можно выделить несколько основных причин такого бурного роста интереса к ДЗЗ:

- резкое увеличение количества космических аппаратов (КА) ДЗЗ на орбите;
- развитие национальных программ ДЗЗ, появление новых компаний-поставщиков данных ДЗЗ;
- развитие систем получения, обработки и предоставления данных ДЗЗ потребителям;
- улучшение основных характеристик аппаратуры ДЗЗ и качества получаемых данных (увеличение пространственного разрешения, расширение динамического диапазона – увеличение радиометрического разрешения, расширение возможностей по стереоскопической съемки, улучшение геометрических характеристик изображения, расширение

мультиспектральных возможностей, повышение точности пространственной привязки данных ДЗЗ без применения наземных опорных точек, увеличение ширины полосы съемки, совершенствование возможностей съемки больших площадей на одном маршруте и т. д.);

- появление КА ДЗЗ сверхвысокого разрешения нового поколения;
- появление радиолокационных КА ДЗЗ сверхвысокого разрешения с возможностью интерферометрической обработки;
- совершенствование технологий обработки;
- увеличение скорости передачи данных;
- сокращение времени поставки данных потребителю – развитие концепции «виртуальных станций»;
- широкое использование сетевых технологий и возможностей Интернет и т. д.

Особый интерес представляют качественные изменения в техническом оснащении отрасли ДЗЗ, которые произошли за последние 2-3 года. На орбите появились спутники с оптико-электронными системами сверхвысокого разрешения нового поколения (WorldView-1 и GeoEye-1), уникальные многофункциональные космические аппараты (ALOS), группировки спутников малого класса мониторингового назначения (RapidEye). Особо следует отметить рост группировок спутников с радиолокаторами высокого и сверхвысокого разрешения (TerraSAR-X, COSMO-SkyMed, RADARSAT-2).

КА ДЗЗ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ С ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫМИ СИСТЕМАМИ СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ: WORLDVIEW-1, GEOEYE-1 И ПЕРСПЕКТИВНЫЙ WORLDVIEW-2

Основными отличительными особенностями оптико-электронных систем нового поколения является их беспрецедентная производительность, в том числе и в режиме стереосъемки, а также возможность получения данных с пространственным разрешением не хуже 50 см и с точностью (среднеквадратическим отклонением – СКО) ортотрансформирования не хуже 5 м без применения наземных опорных точек. К таким аппаратам относятся спутники WorldView-1, WorldView-2 и GeoEye-1.

Космический аппарат WorldView-1 [1] был запущен 18 сентября 2007 г. с авиабазы Ванденберг (США). Владельцем спутника является компания DigitalGlobe (США). В проекте создания спутника приняли участие такие компании как Ball Aerospace (платформа, интеграция), Eastman Kodak (оптическая камера), ИТТ (интеграция), BAЕ Systems (система обработки). Спутник был выведен на околоземную солнечно-синхронную орбиту высотой 496 км, обеспечивающую ежедневную съемку поверхности Земли в 750 тыс. км², со средним периодом пролета над одной и той же территорией в 1,7 суток. WorldView-1 может выполнять съемку только в панхроматическом режиме с пространственным разрешением до 0,5 м. СКО пространственной привязки получаемых данных без применения наземных опорных точек – не хуже 5 м. По сравнению со своим предшественником – КА QuickBird [1] – на спутнике применены принципиально новые технологические решения для обеспечения высокой производительности съемки, качества и точности координатной привязки изображений (рис. 1). Спутник WorldView-1 может снимать по различным схемам: кадровая съемка, маршрутная съемка (вдоль береговых линий, дорог и других линейных объектов), площадная съемка (зоны размером 60х60 км), а также стереосъемка. Расчетный срок пребывания на орбите составляет не менее 7 лет.

Космический аппарат WorldView-2 (рис. 2) компании DigitalGlobe (США) планируется запустить в 2009 г. Он позволит получать цифровые изображения земной поверхности с пространственным разрешением 46 см в



Рис. 1
Сравнение изображений с различных КА:
а) мультиспектральное изображение с КА QuickBird
(пространственное разрешение 61 см);
б) панхроматическое изображение с КА WorldView-1
(пространственное разрешение 50 см)

панхроматическом режиме и 1,8 м в мультиспектральном режиме при съемке в надир. По сравнению с КА QuickBird и WorldView-1 кардинально улучшены возможности по получению мультиспектральных изображений за счет увеличения количества спектральных каналов до восьми. Пространственная точность получаемых данных без использования наземных опорных точек будет не хуже 5 м (СКО). Расчетный срок пребывания на орбите – не менее 7 лет.

Космический аппарат GeoEye-1 [1] был запущен 6 сентября 2008 г. Владельцем спутника является компания GeoEye (США). Он был выведен на полярную солнечно-синхронную орбиту высотой 68 км, обеспечивающую его прохождение над любым районом Земли каждые 1-3 дня (в зависимости от широты). Спутник предназначен для получения цифровых изображений земной поверхности с пространственным разрешением 41 см в панхроматическом режиме и 1,65 м в мультиспектральном режиме при съемке в надир. КА GeoEye-1 обладает высокой маневренностью, что позволяет получать большой объем данных за один виток. Отличительной особенностью аппарата является возможность получения высокоточных изображений с СКО равной 2 м без применения наземных опорных точек. Расчетный срок пребывания на орбите составляет не менее 7 лет.

Необходимо отметить, что все оптико-электронные системы сверхвысокого разрешения, несмотря на



Рис. 2.
Космический аппарат WorldView-2

конкуренцию друг с другом, занимают каждый свою нишу. У WorldView-1 ставка сделана на достижение наивысшей производительности и возможности выполнения съемки больших территорий, в том числе и в режиме стереосъемки. Данные, получаемые с КА GeoEye-1, обладают высокой пространственной точностью без привязки к наземным опорным точкам, хотя по производительности он уступает WorldView-1 и WorldView-2. В свою очередь, КА WorldView-2 будет наиболее высокопроизводительным по получению данных ДЗЗ и с возможностью съемки в большом количестве спектральных каналов, что значительно расширяет возможность использования данных для решения различных задач.

НОВЫЕ КА ДЗЗ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ALOS И RAPIDEYE

Уникальными возможностями, позволяющими использовать данные съемки для целей картографирования, мониторинга природных ресурсов, а также научных исследований, обладают данные со спутника ALOS.

Космический аппарат ALOS (Advanced Land Observation Satellite) [1, 2] был запущен 24 января 2006 г. с космодрома Танегашима (Япония) и выведен на солнечно-синхронную орбиту высотой 691,65 км.

Владельцем спутника является Японское аэрокосмическое агентство (JAXA). В составе его оборудования – радиолокатор L-диапазона (PALSAR), предназначенный для круглосуточного и всепогодного наблюдения Земли и формирующий изображения с разрешением 10-100 м; картографическая стереокамера (PRISM), позволяющая получать моно- и стереоснимки с разрешением до 2,5 м, а также мультиспектральная камера (AVNIR-2) для получения цветных снимков с разрешением 10 м.

Хорошие перспективы для мониторинга природных ресурсов у группировки из пяти мини-спутников RapidEye [1], которые были запущены 29 августа 2008 г. Владелец спутников является компания RapidEye AG (Германия). Каждый из спутников, созданных компанией SSTL (Великобритания) и MDA (Канада), оснащен мультиспектральной оптико-электронной камерой Jena-Optronik для съемки с пространственным разрешением 6,5 м (после обработки – 5 м). Спутники были выведены на околоземную солнечно-синхронную орбиту высотой 630 км. Группировка RapidEye способна обеспечивать ежедневное съемку площади земной поверхности в 4 млн км². Периодичность съемки одного и того же района Земли – 24 ч. Съемка земной поверхности ведется в пяти каналах. Уникальным для спутников высокого разрешения является канал «длинноволновый красный», который оптимально подходит для наблюдения и измерения состояния растительного покрова. Расчетный срок пребывания спутников на орбите составляет 7 лет. Маневренность аппаратов, большие площади съемки, возможность ежедневного мониторинга делают использование данных, полученных со спутников RapidEye, особенно перспективными в сельском, лесном хозяйстве и других отраслях.

КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ С РАДИОЛОКАЦИОННЫМИ КОМПЛЕКСАМИ ДЗЗ СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Основными отличительными особенностями радиолокационных данных сверхвысокого разрешения с КА нового поколения являются их пространственное разрешение до 1 м, возможность съемки с различной поляризацией и последующей интерферометрической обработки для получения высокоточных цифровых мо-

делей рельефа и выявления подвижек земной поверхности. К таким аппаратам относятся спутники TerraSAR-X, COSMO-SkyMed, RADARSAT-2.

Спутник TerraSAR-X [2], разработанный Немецким аэрокосмическим центром (DLR) и компанией EADS Astrium GmbH, был запущен 15 июня 2007 г. с космодрома Байконур и выведен на солнечно-синхронную полярную орбиту высотой 514 км и наклоном 97,44°. Расчетный срок пребывания на орбите КА TerraSAR-X составляет около 5 лет. Оснащение спутника новым радиолокатором с синтезированной апертурой позволяет выполнять интерферометрическую съемку земной поверхности с беспрецедентным пространственным разрешением 1 м. Радар выполняет съемку земной поверхности в X-диапазоне длин волн (3,1 см) с изменяемой поляризацией излучения (HH, VH, HV, WW) в диапазоне съемочных углов от 20° до 55°.

Серию космических аппаратов двойного назначения COSMO-SkyMed 1-4 (Constellation of Small Satellites for Mediterranean basin Observation – Созвездие малых спутников для наблюдения за Средиземноморским бассейном) [2], разрабатываемых Итальянским космическим агентством (ASI) совместно с Министерством обороны Италии, планируется полностью развернуть в 2009 г. Первые три спутника были запущены с авиабазы Вандерберг (США) соответственно 8 июня 2007 г., 9 декабря 2007 г., 24 октября 2008 г. и выведены на околоземную орбиту с высотой 619,6 км и наклоном 97,86°. Все спутники группировки оснащены радиолокаторами с синтезированной апертурой, позволяющими выполнять интерферометрическую съемку земной поверхности с беспрецедентным пространственным разрешением (лучше 1 м на местности). Радиолокатор каждого спутника будет снимать земную поверхность в X-диапазоне длин волн (3,1 см) с изменяемой поляризацией излучения (HH, VH, HV, WW) в диапазоне съемочных углов от 20° до 50°. Расчетный срок пребывания на орбите каждого КА COSMO-SkyMed 1-4 составляет около 5 лет. Оператором спутников является компания Telespazio (Италия).

Космический аппарат нового поколения RADARSAT-2 [2], разработанный Канадским космическим агентством CSA (Canadian Space Agency) и компанией MDA (MacDonald, Dettwiler and Associates Ltd.), запущен 14 декабря 2007 г. с космодрома Бай-

конур на солнечно-синхронную орбиту с высотой 798 км и наклоном 98,6°, с периодом обращения 100,7 минут. Спутник оснащен радиолокатором бокового обзора с синтезированной апертурой, обладающим, как и радар спутника RADARSAT-1, уникальными возможностями изменения ширины полосы съемки и пространственным разрешением до 1 м. Съемка земной поверхности проводится в С-диапазоне длин волн (5,6 см) с изменяемой поляризацией излучения (HH, VH, HV, WW) в диапазоне съемочных углов от 10° до 60°. Расчетный срок пребывания на орбите – не менее 7 лет.

Таким образом, можно констатировать, что в последние годы отчетливо обозначились основные тенденции в развитии технологий ДЗЗ из космоса: увеличение пространственного разрешения получаемых изображений и производительности съемки с космических аппаратов, создание спутников или группировок для решения специализированных задач (картографирования, мониторинга и т. д.), более активное использование радиолокационных съемок. Все это непосредственным образом сказывается на структуре и объеме рынка данных ДЗЗ – улучшается качество представляемой потребителям продукции, и в то же время за счет увеличения на орбите количества спутников и конкуренции значительно снижается стоимость данных, постоянно расширяются архивы снимков, в том числе на территорию России и стран СНГ.

Проведенные в компании «Совзонд» исследования показывают возможность применения данных ДЗЗ из космоса для создания топографических карт и планов крупных масштабов. Обобщенные результаты этих исследований приведены в Справочном разделе (см. с. 118).

В заключение следует отметить, что дальнейший прогресс в сфере ДЗЗ будет в значительной степени связан с развитием технологий обработки и доведения до потребителя в нужном ему виде все увеличивающихся объемов данных, а также с построением комплексных систем оперативного мониторинга.

Список литературы

1. Космические аппараты с оптико-электронными системами ДЗЗ // *Геоматика*. – 2009. – № 1. – С. 84-92.
2. Космические аппараты с радиолокационными системами ДЗЗ // *Геоматика*. – 2008. – № 1. – С. 63-69.