

6. Sapaev, U., Husakou, A., & Herrmann, J. (2013). Combined action of the bound-electron nonlinearity and the tunnel-ionization current in low-order harmonic generation in noble gases. *Optics express*, 21(21), 25582-25591.

7. Дмитриев, В. Г., & Тарасов, Л. В. (2004). Прикладная нелинейная оптика. Физматлит.

8. Ахманов, С. А., & Хохлов, Р. В. Проблемы нелинейной оптики (М.: ВИНТИ, 1964); Бломберген Н. Нелинейная оптика.

REZYUME. O'ta qisqa davomiylikdagi lazer impulsarini uchinchi garmonika generatsiyasi amplitudaning sekin o'zgarishi va bir tomonlama yo'nalishli yaqinlashishlarga asosan, sonli hisoblashlar bilan tahlil qilindi. Amplitudalar sekin o'zgarishi usuli uchun muhit dispersiyasi uchinchi tartibgacha hisobga olindi. Bir xil shartlar uchun uchinchi garmonika impulsining samaradorligi va uning vaqtii amplitudasini yuqorida keltirilgan raqamli usullar bilan tahlil qilindi. Qiyoysi tahlil shuni ko'rsatadiki, ular orasida tarqalish masofalari yetarlicha uzun bo'lganda sezilarli xatoliklar paydo bo'ladi. Argon gazini nochiqli optik muhit sifatida tanga bo'lindi.

РЕЗЮМЕ. Генерация третьей гармоникой сверхкоротких лазерных импульсов была проанализирована численно на основе медленного изменения амплитуды и однонаправленных приближений. Для метода медленно меняющихся амплитуд дисперсия среды учитывалась до третьего порядка. Для тех же условий эффективность импульса третьей гармоникой и его временная амплитуда анализировались указанными выше численными методами. Сравнительный анализ показывает, что значительные ошибки появляются при достаточно больших расстояниях распространения между ними. Газ аргон был придуман как нелинейная оптическая среда.

SUMMARY. The generation of the third harmonic of ultrashort laser pulses was analyzed numerically on the basis of a slow amplitude change and unidirectional approximations. For the method of slowly varying amplitudes, the dispersion of the medium was taken into account up to the third order. For the same conditions, the efficiency of the third harmonic pulse and its temporal amplitude were analyzed by the above numerical methods. A comparative analysis shows that significant errors appear at sufficiently large propagation distances between them. Argon gas was invented as a non-linear optical medium.

ОБЗОР МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ВЫСОКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ

К.К.Сейтназаров – доктор технических наук, доцент

Нукусский филиал Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада аль-Хорезми

Д.Х.Турдышов – старший преподаватель

Нукусский государственный педагогический институт имени Ажинияза

Б.К.Туремуратова – студент

Н.С.Мухиятдинов – студент

Нукусский филиал Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада аль-Хорезми

Таянч сўзлар: космический таъвирлар, геосинхрон экватор орбитаси, пастер орбитаси, аэрофотосуратлар.

Ключевые слова: космические изображения, геосинхронная экваториальная орбита, низкая околоземная орбита, аэрофото-снимки.

Key words: space images, geosynchronous equatorial orbit, low Earth orbit, aerial photographs.

Космическая технология в последние годы совершила огромный прорыв в области получения космических снимков. Новые системы позволяют получать изображения с высочайшей детализацией и точностью, что делает их необходимыми для множества научных и коммерческих целей.

Современные системы для получения космических снимков с высоким разрешением используют различные технологии, включая многолучевые радиолокационные системы, оптические и инфракрасные сенсоры, а также лазерные дальнометры. Они способны получать данные в реальном времени, обеспечивать многократный охват земной поверхности и высокую частоту обновления изображений.

Перед тем, как начать рассмотрение вопроса о том, как получать космические снимки, стоит изучить принцип работы спутников наблюдения Земли.

Орбиты спутников наблюдения Земли обычно попадают в одну из двух категорий: GEO и LEO. GEO является сокращением от геосинхронной экваториальной орбиты. Спутники GEO расположены примерно в 36 000 километрах над экватором, где они вращаются синхронно с вращением Земли. При взгляде с земли эти спутники кажутся неподвижными в том смысле, что их азимут и высота над уровнем моря остаются постоянными. Вот почему говорят, что GEO - это геостационарная орбита.

Такие орбиты, конечно, отлично подходят для ретрансляции связи — это то, что позволяет людям устанавливать антенны спутникового телевидения в своих домах в фиксированной ориентации. Но геоспутники также подходят, когда вы хотите контролировать какой-либо регион Земли, снимая изображения с течением времени. Однако из-за того, что спутники находятся так высоко, разрешение этих снимков довольно грубое. Таким образом, эти орбиты в основном используются для спутников наблюдения, предназначенных для отслеживания меняющихся погодных условий на обширных территориях.

Неподвижность относительно Земли означает, что спутники GEO всегда находятся в пределах досягаемости станции нисходящей линии связи, поэтому они могут отправлять данные обратно на Землю за считанные

минуты. Это позволяет им предупреждать людей об изменениях погодных условий практически в режиме реального времени. Большая часть такого рода данных предоставляется бесплатно Национальным управлением океанографии и атмосферы США [1].

LEO - означает низкую околоземную орбиту. Спутники, размещенные в LEO, находятся гораздо ближе к земле, что позволяет им получать изображения с более высоким разрешением. И чем ниже вы можете опуститься, тем лучшее разрешение вы можете получить. Компания Planet, например, увеличила разрешение своей недавно завершенной спутниковой группировки SkySat с 72 сантиметров на пиксель всего до 50 см — невероятный подвиг — за счёт снижения орбит, по которым следуют ее спутники, с 500 до 450 км и улучшения обработки изображений.

Наилучшее доступное на рынке пространственное разрешение для оптических изображений составляет 25 см, что означает, что один пиксель представляет собой площадь 25 на 25 см на земле - примерно размер вашего ноутбука. Несколько компаний собирают данные с разрешением от 25 см до 1 метра, что в этой отрасли считается высоким или очень высоким разрешением. Некоторые из этих компаний также предлагают данные с разрешением от 1 до 5 метров, что считается средним или высоким разрешением. Наконец, несколько правительственных программ сделали оптические данные доступными бесплатно с разрешением 10, 15, 30 и 250 метров с помощью программ открытых данных. К ним относятся NASA/U.S. Landsat геологической службы, NASA MODIS (спектрорадиометр для получения изображений с умеренным разрешением) и ESA Copernicus.

Поскольку спутники, дающие изображения с самым высоким разрешением, находятся на самых низких орбитах, они сразу воспринимают меньшую площадь. Чтобы охватить всю планету, спутник можно вывести на полярную орбиту, которая переносит его от полюса к полюсу. Во время своего путешествия Земля вращается под ним, поэтому при следующем прохождении он окажется над другой частью Земли.

Однако многие из этих спутников не проходят непосредственно над полюсами. Вместо этого они выведены на околополярную орбиту, которая была специально

разработана для того, чтобы использовать преимущества тонкой физики. Вращающаяся Земля слегка выпячивается наружу на экваторе. Эта дополнительная масса приводит к смещению орбит спутников, которые не находятся на полярных орбитах, или (технически говоря) к прецессиям. Спутниковые операторы часто пользуются этим явлением, чтобы вывести спутник на так называемую солнечно-синхронную орбиту. Такие орбиты позволяют повторять пролеты спутника над заданным местом в одно и то же время суток. Отсутствие смещения рисунка теней между проходами помогает людям, использующим эти изображения, обнаружить изменения.

Обычно спутнику, находящемуся на полярной орбите, требуется 24 часа, чтобы обследовать всю поверхность Земли. Чтобы чаще получать изображения всего мира, спутниковые компании используют несколько спутников, оснащенных одним и тем же датчиком и следующих по разным орбитам. Таким образом, эти компании могут предоставлять более часто обновляемые изображения данного местоположения. Например, созвездие Махаг Worldview Legion, запускаемое позднее в этом году, включает в себя шесть спутников.

После того, как спутник сделает некоторое количество снимков, все эти данные необходимо отправить на Землю и обработать. Время, необходимое для этого, варьируется.

DigitalGlobe (которую Махаг приобрела в 2017 году) недавно объявила, что ей удалось отправить данные со спутника на наземную станцию, а затем сохранить их в облаке менее чем за минуту. Это было возможно, потому что отправленное обратно изображение было с парковки наземной станции, поэтому спутнику не нужно было перемещаться между точкой сбора и тем местом, где он должен был находиться, чтобы выполнить “dumping”, как называется этот процесс.

Как правило, спутники наблюдения Земли в LEO не фиксируют изображения постоянно - они делают это только тогда, когда находятся над районом, представляющим особый интерес. Это потому, что эти спутники ограничены количеством данных, которые они могут передавать за один раз. Как правило, они могут передавать данные всего в течение 10 минут или около того, прежде чем выйдут из зоны действия наземной станции. И они не могут записать больше данных, чем успеют сбросить.

В настоящее время наземные станции расположены в основном вблизи полюсов, наиболее посещаемых районов на полярных орбитах. Но вскоре мы можем ожидать сокращения расстояний до ближайшей наземной станции, поскольку и Amazon, и Microsoft объявили о намерениях построить крупные сети наземных станций, расположенных по всему миру. Как оказалось, размещение терабит спутниковых данных, которые собираются ежедневно, является крупным бизнесом для этих компаний, которые продают свои облачные сервисы (Amazon Web Services и Microsoft Azure) спутниковым операторам.

На данный момент, если вы ищете снимки местности, удаленной от наземной станции, ожидайте значительной задержки — возможно, нескольких часов — между захватом и передачей данных. Затем данные должны быть обработаны, что добавляет еще больше времени. Самые быстрые провайдеры в настоящее время предоставляют свои данные в течение 48 часов после сбора, но не все могут справиться с этим. Хотя при идеальных погодных условиях коммерческая организация может запросить новую съемку и получить необходимые данные на той же неделе, такие быстрые сроки выполнения работ по-прежнему считаются передовыми.

В названии статьи используется слово “изображения”, но важно отметить, что спутники не захватывают изображения так, как это делают обычные камеры. Оптические датчики на спутниках откалиброваны для измерения коэффициента отражения в определенных диапазонах электромагнитного спектра. Это может

означать, что они регистрируют, сколько красного, зеленого и синего света отражается от разных частей земли. Затем оператор спутника применит различные настройки для коррекции цветов, комбинирования соседних изображений и учета параллакса, формируя так называемое составное изображение в истинном цвете, которое выглядит очень похоже на то, что вы ожидаете получить от хорошей камеры, парящей высоко в небе и направленной прямо вниз.

Спутники обработки изображений также могут захватывать данные за пределами спектра видимого света. Ближний инфракрасный диапазон широко используется, например, в сельском хозяйстве, поскольку эти изображения помогают фермерам оценить состояние своих посевов. Эта полоса также может быть использована для определения влажности почвы и множества других характеристик грунта, которые в противном случае было бы трудно определить.

Длинноволновый “тепловой” ИК-излучатель хорошо проникает в дым и улавливает источники тепла, что делает его полезным для мониторинга лесных пожаров. А радарные спутники с синтезированной апертурой, о которых я более подробно расскажу ниже, становятся все более распространенными, поскольку на изображения, которые они создают, не влияют облака и им не требуется освещение солнцем.

Соответственно возникает вопрос, не будут ли аэрофотоснимки, скажем, с беспилотника, работать по крайней мере так же хорошо, как спутниковые данные. Иногда это возможно. Но во многих ситуациях использование спутников является лучшей стратегией. Спутники могут получать изображения над районами, к которым в противном случае был бы труднодоступен, например, из-за их удаленности. Или могут возникнуть другие проблемы с доступностью: область, представляющая интерес, может находиться в зоне конфликта, на частной земле или в другом месте, над которым самолеты или беспилотные летательные аппараты не могут пролететь.

Таким образом, с помощью спутников организации могут легко отслеживать изменения, происходящие в различных отдаленных местах. Спутниковые снимки позволяют операторам трубопроводов, например, быстро выявлять вторжения в их зоны, отведенные для прохода. Затем компания может предпринять шаги для предотвращения катастрофического инцидента, например, если кто-то проколет газопровод во время строительства поблизости.

Возможность сравнивать архивные снимки с недавними полученными данными помогла целому ряду отраслей промышленности. Например, страховые компании иногда используют спутниковые данные для выявления мошеннических претензий (“Похоже, у вашего дома была повреждена крыша, когда вы его покупали...”). А финансово-инвестиционные фирмы используют спутниковые снимки для оценки таких вещей, как будущая прибыль розничных торговцев на основе заполненности парковок или для прогнозирования цен на урожай до того, как фермеры сообщат о своих урожаях за сезон.

Спутниковые снимки предоставляют особенно полезный способ поиска или мониторинга местоположения нераскрытых объектов или видов деятельности. Сара Парка из Университета Алабамы, например, использует спутниковые снимки для определения местоположения представляющих интерес археологических памятников. Консалтинговая компания 52Impract из Нидерландов выявила нераскрытые места захоронения отходов, обучив алгоритм распознаванию их характерной спектральной сигнатуры. Спутниковые снимки также помогли выявить незаконный промысел, бороться с торговлей людьми, отслеживать разливы нефти, получать точные отчеты о смертях от COVID-19 и даже расследовать уйгурские лагеря для интернированных в Китае — все ситуации, когда основным действующим лицам нельзя было доверять в точном сообщении о

происходящем [2].

Несмотря на эти многочисленные успехи, журналисты-расследователи и неправительственные организации пока не используют спутниковые данные регулярно, возможно, потому, что даже небольшая стоимость снимков является сдерживающим фактором. К счастью, некоторые виды спутниковых данных с низким разрешением можно получить бесплатно.

Первое место, где можно найти бесплатные спутниковые снимки, — это центр открытого доступа Copernicus и EarthExplorer. Оба предлагают бесплатный доступ к широкому спектру открытых данных.

Если вам требуются данные среднего или высокого разрешения, вы можете приобрести их непосредственно у соответствующего спутникового оператора. Недавно эта отрасль пережила период слияний и поглощений, в результате чего осталась лишь горстка поставщиков, крупнейшей тройкой на Западе являются Maxar и Planet в Соединенных Штатах и Airbus в Германии. Есть также несколько крупных азиатских поставщиков, таких как SI Imaging Services в Южной Корее и Twenty First Century Aerospace Technology в Сингапуре. У большинства поставщиков есть коммерческие филиалы, но в первую очередь они ориентированы на государственных покупателей. И они часто требуют больших минимальных покупок, что бесполезно для компаний, которые хотят отслеживать сотни местоположений или меньше.

К счастью, обращение к оператору спутниковой связи — не единственный вариант. За последние пять лет возникла кустарная индустрия консультантов и местных реселлеров, предлагающих эксклюзивные предложения по обслуживанию определенного рынка. Агрегаторы и реселлеры тратят годы на заключение контрактов с несколькими поставщиками, чтобы они могли предложить клиентам доступ к наборам данных по более привлекательным ценам, иногда всего за несколько долларов за изображение. Некоторые компании, предоставляющие географические информационные системы, включая Esri, L3Harris и Safe Software, также заключили соглашения о перепродаже с поставщиками спутниковых изображений.

Традиционные реселлеры — это посредники, которые свяжут вас с продавцом для обсуждения ваших потребностей, получения предложений от поставщиков от вашего имени и согласования цен и графиков очередности получения изображений, а иногда и обработки данных. Это относится к Apollo Mapping, European Space Imaging, Geocento, LandInfo, Satellite Imaging Corp. и многим другим. Более инновационные реселлеры предоставят вам доступ к цифровым платформам, где вы сможете проверить, доступно ли нужное вам изображение из определенного архива, а затем заказать его. Примерами могут служить LandViewer от EOS и Image Hunter от Apollo Mapping.

Совсем недавно новое поколение агрегаторов начало предлагать клиентам возможность программного

доступа к наборам данных наблюдения Земли. Эти компании лучше всего подходят для людей, которые хотят интегрировать такие данные в свои собственные приложения или рабочие процессы. К ним относится компания SkyWatch, которая предоставляет такую услугу, называемую EarthCache. Другими примерами являются UP42 от Airbus и Sentinel Hub от Sinergise [3].

Первое из этих событий неудивительно. По мере вывода на орбиту большего количества спутников наблюдения Земли будет делаться больше снимков и чаще. Таким образом, частота получения изображений данной местности со спутника будет увеличиваться. Сейчас это обычно происходит два или три раза в неделю. Ожидайте, что скоро частота повторных посещений увеличится до нескольких раз в день. Это не полностью решит проблему с облаками, скрывающими то, что вы хотите видеть, но это поможет.

Второе развитие событий более тонкое. Данные с двух спутников миссии Европейского космического агентства Sentinel-1 SAR, доступные бесплатно, позволяют компаниям за последние несколько лет освоить SAR.

С помощью SAR спутник излучает радиоволны вниз и измеряет ответные сигналы, отражающиеся от поверхности. Он делает это постоянно, и для преобразования этих данных в изображения используется интеллектуальная обработка. Использование радио позволяет этим спутникам видеть сквозь облака и собирать данные измерений днем и ночью. В зависимости от используемого диапазона радара снимки SAR могут использоваться для оценки свойств материала, содержания влаги, точных перемещений и высоты над уровнем моря.

По мере того, как все больше компаний знакомятся с такими наборами данных, несомненно, будет расти спрос на спутниковые снимки SAR, которые широко используются военными с 1970-х годов. Но это только сейчас начинает появляться в коммерческих продуктах. Однако вы можете ожидать, что эти предложения значительно вырастут.

Действительно, значительная часть денег, инвестируемых в эту отрасль, в настоящее время направляется на финансирование крупных систем SAR, включая Capella Space, Iceye, Synspective, XpressSAR и другие. Рынок быстро заполнится, и это отличная новость для покупателей. Это означает, что они смогут получать SAR-изображения интересующего их места с высоким разрешением, сделанные каждый час (или реже), днем или ночью, облачно или ясно.

В заключении, исследователи без сомнения найдут замечательные новые способы использования этой информации, поэтому чем больше людей будет иметь к ней доступ, тем лучше. Однажды, в не столь отдаленном будущем, спутниковые данные наблюдения Земли могут стать такими же повсеместными, как GPS, еще одна спутниковая технология, впервые использовавшаяся только военными.

Литература

1. Гук А.П., Шляхова М.М. 2018. Особенности современного этапа развития средств дистанционного зондирования. Интерэкспо Гео-Сибирь, 1 (4), 7-13.
2. Ушакова Н.Н. (2018). Формирование космического изображения сверхвысокого разрешения с моделированием группировки из изображений реального аппарата. Прикладная математика. Физика, 50 (2), 229-238.
3. Топаз А.А. Цифровая обработка космических снимков в программе ERDAS IMAGINE [Электронный ресурс]: пособие. А.А.Топаз, Е.В.Казяк. – Минск: БГУ, 2017. ISBN 978-985-566-451-3.

РЕЗЮМЕ. Ушбу мақолада юкори сифатли сунъий йўлдош тасвирларини олиш усуллари хақида умумий, шунингдек, геосинхрон экваториал ва паст ер орбиталари хақида қисқача маълумот берилган. Учувчисиз транспорт воситалари ва сунъий йўлдош тасвирлари ёрдамида олинган аэрофотосуратларни таққослаш берилган. Шунингдек, у сунъий йўлдош тасвирларини тақдим этиш билан шуғулланадиган компанияларнинг келажакдаги режалари хақида маълумот берди.

РЕЗЮМЕ. В данной статье проводится обзор методов с помощью которых можно получить высококачественные космические изображения, также дается краткая информация о геосинхронной экваториальной и низкой околоземной орбитах. Далее в статье рассматриваются самые высокие и низкие разрешения спутниковых снимков, также какие компании предоставляют данные снимки. Приводится сравнение аэрофотоснимков, полученные с помощью беспилотных аппаратов и космических снимков. Также приводится информация о будущих планах компаний, которые занимаются предоставлением космических изображений.

SUMMARY. This article provides an overview of obtaining high-quality satellite images can be method, and also provides brief information about geosynchronous equatorial and low Earth orbits. Further more the article discusses the highest and lowest resolutions of satellite images, as well as which companies provide these images. The comparison of aerial photographs is given obtained with the help of unmanned vehicles and satellite images. It also provides information about the future plans of companies that are engaged in providing satellite images.