

Развитие системы передачи изображений с наноспутников в интересах ДЗЗ

К.В. Селиванов

*Московский технический университет связи и информатики, кафедра телевидения
111024, Москва, Авиамоторная ул., 8а
E-mail: guardianru@gmail.com*

Известный проект технологического наноспутника ТНС-1 для целей ДЗЗ предполагает использование для передачи изображений специальный радиоканал на частоте 1.7 ГГц со скоростью 665 кбит/с, что позволяет обеспечить прием информации среднего пространственного разрешения (150-200 м) на многочисленных существующих наземных станциях метеорологического назначения, работающие в стандарте NOAA. Тем самым достигается широкая доступность на постоянной беззапросной основе информации ДЗЗ, представляющей интерес для многих потребителей. Источником информации на борту является цифровая камера, работающая в стандарте RGB с коэффициентом сжатия 8 по алгоритму JPEG.

ТНС-1, подобно ранее запущенному наноспутнику ТНС-0 должен иметь систему управления на основе использования спутниковой телекоммуникационной системы ГЛОБАЛСТАР. Максимальная скорость обмена информации в канале управления составляет 9.6 кбит/с. Спутники ГЛОБАЛСТАР второго поколения, которые поэтапно вводятся в эксплуатацию могут обеспечить скорость обмена до 100-200 кбит/с в режиме передачи.

Рассматриваются пути повышения коэффициентов сжатия изображений, приемлемое для целей ДЗЗ, которые в сочетании с оптимизацией пространственного разрешения могут позволить передавать изображения со спутника через канал GLOBALSTAR, и даже, по сети интернет, что существенно расширяет возможности их использования и значительно сокращает и улучшает аппаратуру наноспутника.

Эффективность сжатия предполагается при этом увеличить за счет адаптивной перестройки алгоритма функционирования метода сжатия, в зависимости от интегральной оценки спецификации структуры изображения в локальных областях. При этом возможно увеличение не только эффективности сжатия, но и эффективности предварительной селективной обработки перед реализацией процесса сжатия и точность обработки.

Ключевые слова: наноспутники, телевидение, колориметрия, ДЗЗ, RGB.

Введение

Дистанционное зондирование земли (ДЗЗ) имеет многолетнюю историю развития, которая началась с первых фотографических съемок Земли с воздушных шаров и самолетов в конце 19 века и по мере развития фотографической техники стала основой аэрофотографии – важной прикладной отрасли науки, хозяйства и военного дела. Появление космических носителей – спутников земли – обеспечило возможность проведения космических съемок. Сегодня ДЗЗ из космоса – весьма активно развивающееся направление космической техники.

Самолетная и космическая съемка имеют много общего и часто объединяются общим термином аэрокосмическая съемка [1], поскольку в практической деятельности они часто дополняют друг друга и являются элементами технологической цепочки, объединяющей разновысотную съемку наземных объектов с их непосредственным контактным наблюдением [2].

Однако техника и технология аэро- и космической съемок все же существенно отличны. Если до настоящего времени при аэрофотосъемке используются традиционные фотографические

носители изображения, то в космосе сделан окончательный переход на оптико-электронные системы, близкие по своим принципам действия к малокадровым телевизионным системам [3, 4].

В развитии аэрокосмической съемки был важный момент, когда наряду с черно-белой (панхроматической) съемкой началось использование цветной (спектрозональной) съемки. Этот переход был вызван различными причинами и, прежде всего, различием решаемых задач. Если черно-белая (панхроматическая) съемка удовлетворяет многим требованиям топографии и картографии, то для наблюдения, например, таких объектов, как растительный покров, более эффективно использовать цветную и спектрозональную съемку [5, 6].

Появление цветной фотографии, а также цветного кино и телевидения, стимулировалось заинтересованностью массового потребителя получить натуральную, естественную передачу образов объектов съемки, приемником которого был человеческий глаз.

Натуральная цветопередача базировалась на трехкомпонентной теории цветного зрения (колориметрии) [7, 8], экспериментально доказавшей свою эффективность. При цветной аэрофотосъемке не ставилась задача натурального, колориметрически точного воспроизведения цветов, а использовалось свойство цветного изображения передавать существенно больший объем информации об объекте съемки, что способствовало более точному решению задач дешифрирования (опознавания, классификации) изучаемого объекта.

Постановка задачи

Для решения многих практических задач съемки колориметрически точным способом изображением объекта съемки нет необходимости. Более того, допустимо сознательное искажение цветопередачи, с целью лучшего выявления некоторых объектов съемки. Возможно, и это сейчас широко используется в технике ДЗЗ, использование таких спектральных диапазонов, в которых глаз не чувствителен, например, в ближнем инфракрасном диапазоне. При этом возникает требующая научного обоснования задача оптимального для визуального дешифрирования представления исследованного объекта, наблюдаемого в натуральных цветах.

Рассмотрим классическую для ДЗЗ ситуацию - различения наиболее типичного объекта на поверхности земли – растительного покрова. Все живые растения имеют характерную кривую спектрального отражения – спектральный коэффициент яркости (СКЯ) (рис. 1), имеющего в видимом диапазоне относительно небольшой подъем в области зеленого цвета и значительное повышение коэффициента отражения в ближней инфракрасной области (0.76-1 мкм), невидимой глазу. Незначительные различия в форме кривых для различных растений будучи обнаружены системой опознавания позволяют определить типы растительности и их состояние. Глаз на пути эволюционного развития человека научился хорошо различать типы растительности в зеленом диапазоне, но аппаратура наблюдения на первом этапе (фотоаппараты, электронно-оптические системы ранних конструкций) обладали значительно меньшей контрастной чувствительностью, что делало предпочтительным наблюдение в ближнем ИК диапазоне, поскольку обеспечивало лучшее отношение сигнал/шум регистрирующего устройства. Были созданы специальные спектрозональные фотопленки, с одним из спектральных каналов, чувствительных в ближнем ИК диапазоне. Они эффективно использовались при аэрофотосъемке лесов [5]. Ясно, что такая система принципиально отличалась от системы RGB, используемой при натуральном воспроизведении изображений.

Интересно отметить, что была и другая, возможно весьма важная задача при создании спектрозональной пленки, а именно: демаскировка объектов наблюдения, которые часто маскируются путем их окраски в зеленый цвет, но воспроизвести форму спектральной характеристики отражения растительности в ближнем ИК диапазоне краска не может.

Если задача распознавания замаскированных объектов не является главной, то используя существенный рост чувствительности современных оптико-электронных систем по сравнению с фотопленкой, можно определить еще одну важную задачу – исследование возможностей отказа от

ближнего ИК диапазона в системах ДЗЗ широкого использования. Потери от такого решения могут быть приемлемыми с точки зрения опознавания растительности и будет получен заметный выигрыш в упрощении аппаратуры и сокращении объема передаваемых данных.

Имеется и другой, новый аспект в рассматриваемом вопросе. Он связан не только с упрощением технических характеристик современной съемочной аппаратуры, но и с изменением состава пользователей космической информации ДЗЗ.

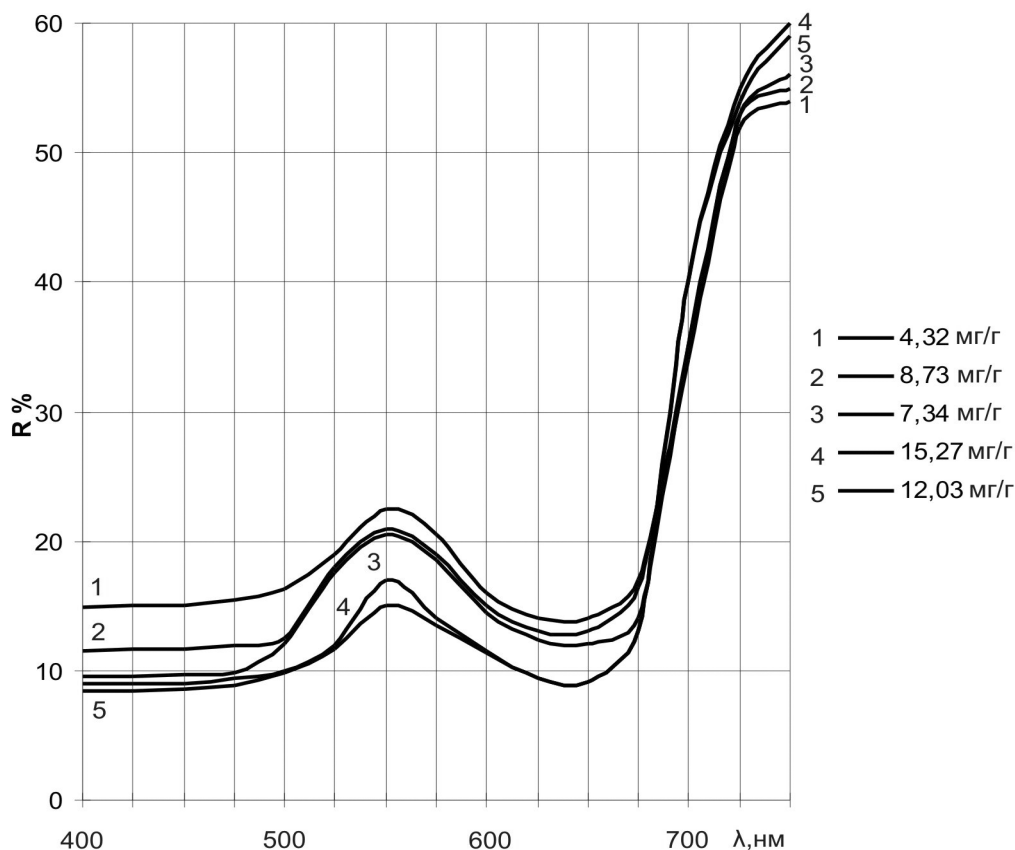


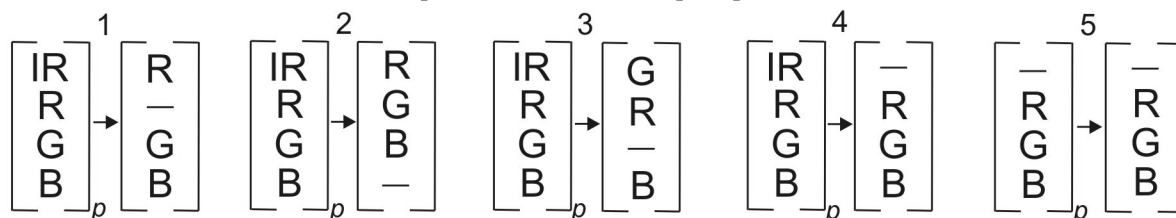
Рис. 1. Спектральные кривые отражения зеленых листьев, содержащих различное количество хлорофилла

Сегодня сформировался широкий класс полупрофессиональных и совсем не профессиональных потребителей космической информации, ставшей весьма доступной, для которых натуральное цветовоспроизведение снимков имеет важное значение, поскольку позволяет достичь естественного восприятия объекта съемки, узнаваемости их без использования каких-либо методов цифровой обработки (которая, однако, в принципе не исключается на определенном этапе использования информации). Наиболее яркий пример - система Google Earth [9], которая пользуется все большей популярностью в мире. Информация от Google Earth свободно передается через интернет и представляет результаты съемки всего земного шара на определенные моменты времени с различным пространственным разрешением (в основном высоким, до 1 м), которое в настоящее время может быть получена с многих спутников ДЗЗ, находящихся на орбитах. Такой съемкой (метровой) охвачено до 70% площади поверхности Земли, для других районов используется съемка с меньшим пространственным разрешением. Источником информации для Google Earth служат многозональные 3 и 4-х каналные системы с ИК диапазоном, поэтому Google Earth не может представить пользователям натуральные изображения, а только лишь так называемое псевдоцветные, которое однако формируется таким образом, чтобы быть максимально похожим на естественные. Как показала практика, такая операция, в принципе, приемлема для пользователя, тем более не имеющего под рукой эталона для сравнения.

При таком методе преобразования цветов должны быть дополнительно выполнены следующие условия:

- растительный покров должен быть представлен оттенками зеленого цвета;
- снежный и облачный покров должны быть натурально белыми;
- водные поверхности могут иметь оттенки от сине-фиолетового до темно-синего, почти черного;
- определенным образом должно быть учтено влияние атмосферы

В общем имеется 5 базовых вариантов цветового преобразования каналов:



В профессиональной практике принято IR сигнал транспонировать в красный (R) (варианты 1, 2), что приводит к представлению растительных покровов в псевдоцветном синтезированном изображении в виде полей различного оттенка красного цвета. Такое цветовое кодирование помогает дешифровщику, обеспечивая повышенный цветовой контраст между растениями и почвой, но с большим трудом воспринимается непрофессионалами или же специалистами, для которых растительный покров не является объектом наблюдения. Поскольку в современном процессе дешифрирования и псевдосинтеза принимает участие вычислительная машина, возможен разнообразный подбор палитры цветов, кодирующих разные каналы, то здесь был описан процесс синтеза, ставший практически стандартом для систем ДЗЗ.

Выбор количества спектральных каналов наблюдения и их расположения на шкале длин волн - один из основных вопросов в теории и практике ДЗЗ [4, 10 и др.]. В свое время ему было посвящено очень много теоретических работ и было реализовано большое количество систем ДЗЗ не только космических, но и авиационных, что дает возможность подвести некоторые итоги по анализу в этой области.

Анализируя характеристики нескольких десятков спутников ДЗЗ, запущенных за последние более 30 лет, можно отметить единообразный подход к выбору количества базовых спектральных каналов: три в видимой области, один в ближнем ИК. Причем длины волн этих каналов практически совпадают. Они сосредоточены в диапазонах 0,4-0,5 мкм, 0,5-0,6 мкм, 0,6-0,7 мкм и 0,7-0,9 мкм с некоторой точностью деления +/- Δλ. По аналогии с колориметрическими системами указанные спектральные диапазоны обозначаются, как RGB, IR, хотя для корректности эти обозначения следует сопровождать индексом «р» (псевдо). Величина Δλ в разных системах не превышает 10% и разработчиками систем объясняется необходимостью более точной настройки системы на опознавание объектов определенного класса. Во многих случаях такая аргументация вызывает сомнение, поскольку имеется ряд факторов, делающих такую настройку малоэффективной. На это имеются следующие основания [4].

1. По техническим причинам форму спектральных фильтров не удастся сделать достаточно прямоугольной, с четкой границей их разделения (рис. 2). Реально, спектральные характеристики частично перекрываются и их форма бывает близка к колоколообразной, иногда несимметричной. Вызывает вопрос выбор уровня, на котором измеряется ширина спектрального канала.

2. СКЯ одних и тех же природных образований не являются достаточно стабильными. Они изменяются на некоторую величину, в зависимости от угла наблюдения, угла освещения и состояния атмосферы. СКЯ растительности заметно варьируют также от направления ветра и района произрастания.

3. Имеют место неизбежные шумы фотоприемников, которые вносят свой вклад в величину Δλ, включая флуктуационные шумы и шумы квантования.

Тем не менее, многочисленные системы ДЗЗ работают достаточно эффективно и активно развиваются. Количество наблюдений и задач, решаемых на базе ДЗЗ, исчисляется тысячами и точно настроить систему под каждого пользователя невозможно, да и практика показывает, что в этом нет необходимости, имея ввиду системы ДЗЗ массового обслуживания, - класс систем который в настоящее время можно четко позиционировать.

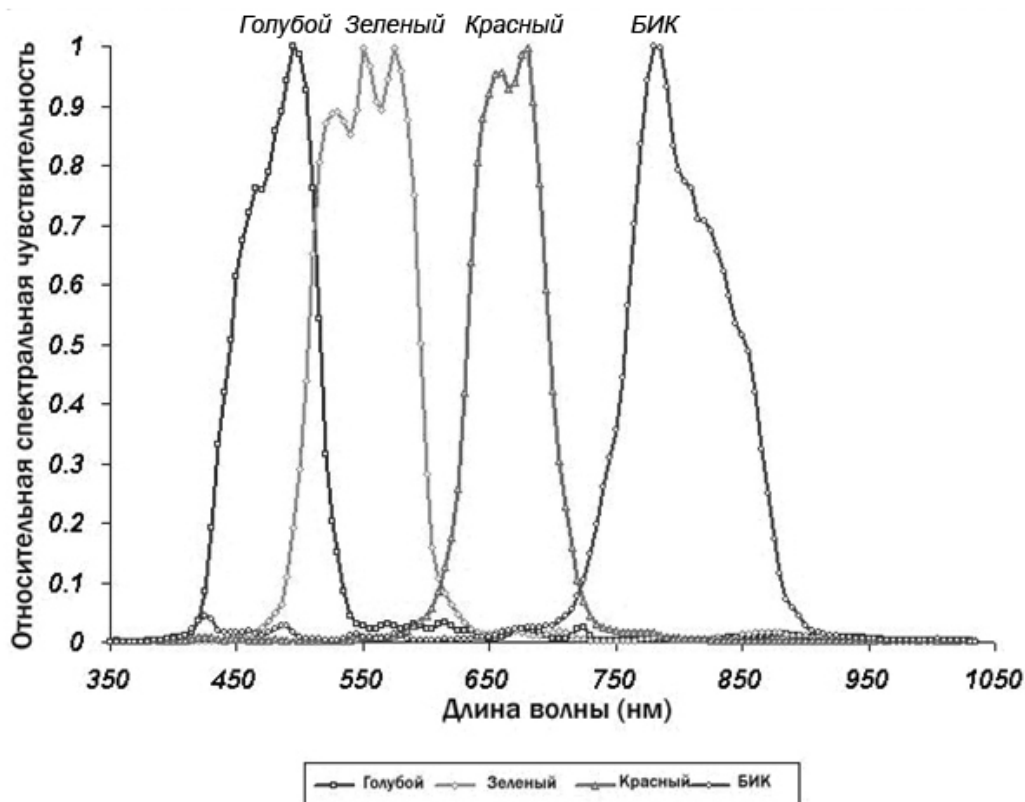


Рис. 2. Спектральная чувствительность спектральных каналов спутника IKONOS

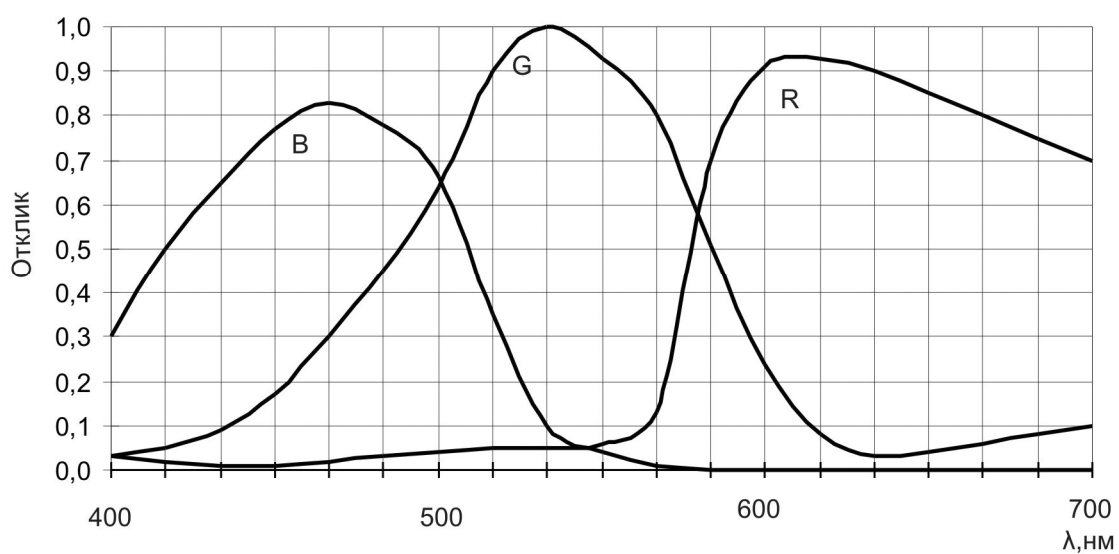


Рис.3. Спектральная характеристики чувствительности в камерах Sony ICX415AQ с системой RGB

Обращает на себя внимание аналогия с системой человеческого зрения, трехкомпонентной (трехканальной) своей основе, но отличающейся нечетким разделением каналов между собой (рис. 3). Учитывая изложенное, можно предположить, что наличие широких спектральных перекрывающихся каналов в системе RGB глаза не будет существенным препятствием для использования этой системы, в качестве базовой, для ДЗЗ массового обслуживания. Точности решения задач с помощью такой системы должны быть дополнительно исследованы.

Техническая реализация

В 2005 году, в ФГУП РНИИ КП, был запущен первый Технологический Наноспутник ТНС-0 №1. На его базе были исследованы возможности отработки новых технологий, конструктивных решений и создание опытной платформы для спутников нано-класса. Предпосылками для такой идеи стала мировая тенденция к уменьшению размеров, веса и стоимости спутников.

В результате анализа проведенных испытаний ТНС-0 №1 была показана принципиальная возможность создания малоразмерного космического аппарата нано-класса, массой до 10 кг, позволяющего на экспериментальном уровне в условиях реального космического полета провести отработку ряда новых технологий, отработку служебной платформы, вопросов приема и передачи данных и новых конструктивных решений представляющих интерес как в области космического приборостроения, дистанционного зондирования земли, так и спутникостроения в целом. ТНС-0 показал возможность использования таковой платформы для предоставления услуг ДЗЗ широкому кругу наземных пользователей.

Конечной целью проекта является разработка технического предложения, для систем ДЗЗ среднего пространственного разрешения (150-200 м), построенного на базе платформы ТНС. В нем разрабатывается концепция системы фотографирования и передачи потребителю информации о виде земной поверхности из космоса.

Подобно ранее запущенному наноспутнику ТНС-0 должен иметь систему управления на основе использования спутниковой телекоммуникационной системы ГЛОБАЛСТАР. Максимальная скорость обмена информации в канале управления составляет 9.6 кбит/с. Спутники ГЛОБАЛСТАР второго поколения, которые поэтапно вводятся в эксплуатацию могут обеспечить скорость обмена до 100-200 кбит/с в режиме передачи.

Для целей ДЗЗ предполагает использование для передачи изображений специальный радиоканал на частоте 1.7 ГГц со скоростью 665 кбит/с, что позволяет обеспечить прием информации среднего пространственного разрешения (150-200 м) на многочисленных существующих наземных станциях метеорологического назначения, работающие в стандарте NOAA. Тем самым достигаемая широкая доступность на постоянной беззапросной основе информации ДЗЗ, представляющей интерес для многих потребителей. Исключение передатчика NOAA и использование спутников второго поколения ГЛОБАЛСТАР – возможно, но требует отдельного расчета, так как потенциально ухудшает возможности передачи информации до пространственного разрешения в 250 м.

Источником информации на борту будут две цифровые камеры, работающая в стандарте RGB с коэффициентом сжатия 8 по алгоритму JPEG и адаптированные к условиям работы в космическом аппарате, но при этом являющиеся сугубо широкодоступными коммерческими вариантами.

Рассматриваются пути повышения коэффициентов сжатия изображений, приемлемое для целей ДЗЗ, которые в сочетании с оптимизацией пространственного разрешения могут позволить передавать изображения со спутника через канал ГЛОБАЛСТАР, и даже, по сети интернет, что существенно расширяет возможности их использования и значительно сокращает и улучшает аппаратуру наноспутника.

Эффективность сжатия предполагается при этом увеличить за счет адаптивной перестройки алгоритма функционирования метода сжатия, в зависимости от интегральной оценки

спецификации структуры изображения в локальных областях. При этом возможно увеличение не только эффективности сжатия, но и эффективности предварительной селективной обработки перед реализацией процесса сжатия и точность обработки. Важно заметить, что систему предполагается сделать беззапросной и периодичной.

Метод запуска спутника (космонавтом, ручной с Международной космической станции) делает спутник вращающимся, со скоростью вращения, как показал опыт с ТНС-0, примерно 3 оборота в секунду. Это дает основную проблему, с которой требуется бороться – смаз.

Проблему смаза планируется решать установкой отдельного интегрального цифрового накопителя, что не только решает проблему смаза, но и повышает точность дискретной выборки, а частота считывания кадров автоматически регулируется, адаптивно от скорости вращения спутника.

Прорабатывается идея скоростной множественной съемки, при установке небольшого сопроцессора для повышения качества снимков (многократная съемка со сдвигом).

Предполагаемый наземный комплекс пользователя: антенна на земле – 2м, с простейшим наведением, ПК и цветным принтером.

Заключение

1. Имеется достаточно обоснованное предположение, позволяющее сделать предположение о том, что в недорогих перспективных системы ДЗЗ массового обслуживания разнообразных потребителей можно ограничиться использованием колориметрической системы RGB, обеспечивающей натуральную цветопередачу изображения объектов наблюдения.

2. Использование системы RGB позволит исключить из бортовой аппаратуры ближний инфракрасный канал, что приведет к ее упрощению и удешевлению и имеет особое значение, если система ДЗЗ формируется на базе малоразмерных космических аппаратов (например, наноспутников).

Литература

1. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований. М.: «Академия», 2004. 336 с.
2. Кондратьев К.Я., Козодеров В.В., Федченко П.П. Аэрокосмические исследования почв и растительности. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 231 с.
3. Виноградов Б.В., Кондратьев К.Я. Космические методы земледения. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 190 с.
4. Баррет Э., Куртис Л. Введение в космическое земледение. М.: «Прогресс», 1979. 368 с.
5. Апостолов Ю.С. Исследования измерительных и изобразительных свойств спектрональных аэрофотоснимков применительно к задаче дешифрования растительного покрова. Автореферат диссертации на соискание уч. ст. к.т.н. Москва, МНИИГАИК, 1969. 18 с.
6. Кишенков Ф.В., Апостолов Ю.С. Воздушное фотографирование и картографирование лесных территорий. Брянск, Изд. Брянского технологического института, 1968. 68 с.
7. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике. М.: «Мир», 1978. 591 с.
8. Кустарев А.К. Колориметрия цветного телевидения. М.: «Связь», 1967. 335 с.
9. Павлов А. Планета Земля // Upgrade, 2008. №50. С. 40-43.
10. Покровский О.М. Проблемы оптимизации систем дистанционной идентификации параметров атмосферы, океана и объектов природной среды. Препринт ВНИИТИ. №12. М., ОВМ АН СССР, 1981. 28 с.

Development of image transfer system from nano-satellites for ERS purposes

K.V. Selivanov

Moscow technical university of communications and informatics, television faculty

Known project of technological nano-satellite (TNS-1) for ERS purposes assume that for image transfer from satellite the special radio-channel at 1.7 GHz with speed of 665 kb/s is needed. It allows to provide a steady flow image information income of middle space resolution (150-200 m) to big number of existing meteorology stations that work with NOAA standard. That makes available wide accessibility, at a constant and unrequest mode of ERS information for interested users. The information source in the satellite is digital camera, that works in RGB standard with 8 compression rate in JPEG algorithm.

TNS-1, like early lunched nano-satellite TNS-0, must have a management system based on telecommunication satellite system GLOBALSTAR. Maximum speed in the management channel is 9.6 kb/s at 1st generation GLOBALSTAR satellites and 100-200 kb/s at 2nd in transfer mode which are going to be installed soon.

Considering the ways to raise the compression rates for images, that would be usable for ERS purposes, which combined with optimization space resolution could provide abilities to transfer images from nano-satellite from GLOBALSTAR channel or even by internet, that greatly improve capability of their use and effectively reduce and improve nano-satellite structure.

Compression effectiveness suggested to be improved by cost of adaptive tuning algorithm by which the compression method works, in dependence of integral rating of image structure specification in local fields. That ability gives not only upgrade of compression rate, but even raise the effectiveness of pre-selective processing before compression process realization and accuracy of processing.

Keywords: nano-satellites, television, colorimetry, earth remote sensing (ERS), RGB.