

Поступила 25.10.2010р.

УДК 621.384.3

Л.Ф.Купченко¹, А.С.Рыбьяк¹, Д.П.Пашков²

¹Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба

²Национальный университет обороны Ураины

УМЕНЬШЕНИЕ ИЗБЫТОЧНОСТИ ИНФОРМАЦИИ В ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИНАМИЧЕСКОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

Жизнь коротка, а информация бесконечна...

Сокращение есть неизбежное зло, и задача того, кто этим занимается, состоит в достижении наилучшего в том, что хотя и является по существу плохим, все же лучше, чем ничего.

Олдос Хаксли

В статье обсуждаются принципы уменьшения избыточности информации в гиперспектральных системах дистанционного зондирования Земли путем первичной обработки изображений на основе динамической спектральной фильтрации, обеспечивающей выделения в текущих изображениях требуемых спектральных фрагментов.

Введение. В настоящее время изображающие спектрометры (видеоспектрометры) получили широкое распространение при дистанционном зондировании Земли. Характерной особенностью таких систем является формирование изображений более чем в ста спектральных каналах с высокой пространственной разрешающей способностью.

Известно, что объем информации, формируемой оптоэлектронной системой, определяется числом ее пространственных и спектральных элементов разрешения. Следовательно, для изображающих спектрометров характерным является чрезвычайно большой объем информации (десятки гигабайт в одном кадре), подлежащий обработке, хранению и дальнейшей передаче [1]. При этом темп поступления информации составляет десятки мегабайт в секунду.

Значительные угловые размеры просматриваемого пространства,

большая скоротечность событий в пространстве, быстрая смена ситуаций и краткое время существования искомым объектов в пределах просматриваемого пространства, а также огромный объем оптической информации при большой ее избыточности во многих случаях порождают необходимость минимизации количества информации на выходе изображающего спектрометра за счет уменьшения ее избыточности.

В настоящее время появилось достаточное количество работ посвященных уменьшению избыточности информации, добываемой изображающими спектрометрами. Однако, в большинстве из них предлагается использовать последетекторную обработку сигналов. Так в работе М.А.Попова и С.А. Станкевича [2] произведен обзор известных методов уменьшения объема передаваемой информации, что обеспечивается предварительной обработкой сигналов на борту носителя, включающей оптимизацию параметров сигнала, атмосферную коррекцию, адаптивное сжатие, высокоэкономичное кодирование и предварительную классификацию. Проведен анализ информационного содержания различных изображений и показано, что если в многоспектральных снимках информация об объектах примерно равномерно распределена внутри рабочего спектрального диапазона, то в гиперспектральных изображениях наиболее ценная для интерпретации информация сосредоточена, как правило, в небольшом числе каналов. Показано, что информационная избыточность гиперспектральных изображений либо вовсе не дает полезной информации в рамках конкретной тематической задачи, либо дает ее мало.

Эти положения были положены авторами в основу разработанного ими способа выбора оптимальной комбинации спектральных изображений, который учитывает не только статистическое распределение признаков объектов, но и пространственно-статистическое свойство изображений.

Анализ литературы [3] описывающий спектральную фильтрацию показал, что из-за сложного характера спектральных распределений и корреляции между отдельными спектральными каналами, нет необходимости говорить об информативности отдельных спектральных каналов, а можно говорить только об информативности их комбинации.

Действительно, средние информационности отдельных каналов зависят от того в какую комбинацию каналы входят. Например, при определенных условиях комбинация менее информативных по отдельности каналов может иметь информативность большую, чем у комбинации более информативных по отдельности каналов.

Поэтому, можно обоснованно утверждать, что поиск рациональных методов уменьшения избыточности информации в гиперспектральных системах дистанционного зондирования Земли далек от своего завершения.

В связи с этим, **целью статьи** является разработка метода уменьшения избыточности информации в системах дистанционного зондирования Земли с использованием принципов динамической спектральной фильтрации путем выделения требуемых спектральных фрагментов в текущих изображениях.

Постановка задачи и ее решение. Метод уменьшения избыточности информации в системах дистанционного зондирования Земли состоит в уменьшении спектральной яркости тех спектральных фрагментов регистрируемого излучения, информативностью которых при решении конкретной задачи можно пренебречь.

Метод позволяет с использованием спектральных признаков искомым объектам сформировать пространственный транспарант («маску»), на котором отсутствуют те фрагменты, которые можно исключить из изображений. С использованием полученной «маски» далее осуществляется выделение на выходе изображающего спектрометра только информации представляющей определенный интерес при решении конкретной задачи. В результате обработки уменьшается поток данных, подлежащий дальнейшей обработке и передачи по каналам связи.

При формировании «маски» воспользуемся разработанный авторами метод динамической спектральной фильтрации [4]. Метод предполагает такую обработку оптического излучения, которая на основе априорной информации о спектральных характеристиках излучения объекта и помехи позволяет обеспечить спектральную селекцию полезного сигнала при наличии сигнала помехи. Спектральная селекция осуществляется за счет использования управляемых фильтров, обеспечивающих такой спектральный коэффициент пропускания, который является максимальным для спектральных компонент излучения искомого объекта и минимальный для оптического сигнала помехи. Далее под сигналом фона или помехи будем понимать излучение той части пространства, которая не представляет определенный интерес при решении поставленной задачи.

В результате фильтрации на выходе формируется полутоновое изображение $Y(i, j)$, на котором значение яркости в каждой точке (i, j) определяется скалярным произведением вектора входного оптического сигнала \vec{X} и вектора фильтра \vec{F}

$$Y(i, j) = \vec{F}^T \vec{X}(i, j),$$

где верхний индекс T обозначает операцию транспонирования.

Будем полагать, что на вход динамического фильтра поступает случайный сигнал объекта и случайный сигнал фона. В соответствии с векторным представлением оптических сигналов, сигнал объекта будет характеризоваться многомерной нормальной плотностью распределения $f_o(\vec{r}) \approx N(\vec{\mu}_o, \Gamma)$, а случайный сигнал фона многомерной плотностью распределения $f_\phi(\vec{b}) \approx N(\vec{\mu}_\phi, \Gamma)$. Здесь $\vec{\mu}_o, \vec{\mu}_\phi, \Gamma$ – векторы математического ожидания сигналов объекта и фона соответственно, а также корреляционной матрицы.

Предположим, что числовые параметры вероятностных характеристик сигналов объекта и фона известны, либо имеются репрезентативные

выборки, позволяющие оценить их. Тогда вектор фильтра, обеспечивающий повышение отношения сигнал-помеха, будет определяется следующим выражением [4]

$$\vec{F} = \frac{(\vec{\mu}_o - \vec{\mu}_\phi) - N\vec{p}_1}{\|(\vec{\mu}_o - \vec{\mu}_\phi) - N\vec{p}_1\|},$$

где $N = (\vec{\mu}_o - \vec{\mu}_\phi)^T \vec{p}_1 / \vec{p}_1^T \vec{p}_1$ – коэффициент пропорциональности произведения вектора $\vec{\mu}_o - \vec{\mu}_\phi$ на вектор \vec{p}_1 ; \vec{p}_1 – собственный вектор корреляционной матрицы Γ соответствующей максимальной дисперсии σ_1^2 .

Для того чтобы разделить пространство спектральных каналов (рис. 1) на два подпространства (искомого объекта и фона) необходимо значения функции $Y(i, j)$ сравнить с некоторым порогом h и принять решение по следующему правилу

$$I(i, j, \lambda) = \begin{cases} X(i, j, \lambda) & Y(i, j) \geq h \\ 0 & Y(i, j) < h \end{cases}.$$

В результате получим, что значения функции $I(i, j, \lambda)$ будут отличаться от нуля только в тех точках, в которых $Y(i, j)$ превысит порог.

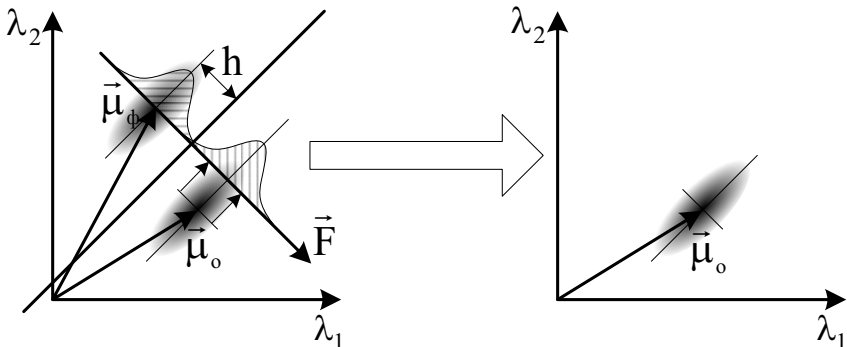


Рис. 1. – Сущность способа уменьшения информационной избыточности на примере двумерного спектрального пространства

Величина порога h должна определяться согласно критерию Неймана-Пирсона и выбираться по заданной вероятности ложной тревоги $P_{лт}$, которая определяется следующим выражением:

$$P_{лт} = \int_h^\infty p_\phi(Y) dY = 1 - \Phi\left(\frac{h - \mu'_\phi}{\sigma'_\phi}\right),$$

где $p_\phi(Y)$ – плотность вероятности сигнала фона на выходе оптико-

электронной системы; Y – значения функции $Y(i, j)$ в точках $(i, j) \in \Omega_\phi$, где Ω_ϕ – область изображения на выходе ОЭС занимаемая фоном; $\Phi(\bullet)$ – интеграл вероятности; μ'_ϕ, σ'_ϕ – математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение значений сигнала фона на выходе динамического спектрального фильтра.

Схема оптико-электронной системы обеспечивающей, уменьшение информационной избыточности изображена на рис.2. Схема включает изображающий спектрометр (ИС), обеспечивающий разложение оптического излучения по n – спектральным каналам $I_1(i, j), \dots, I_n(i, j)$ и динамический спектральный фильтр (ДСФ), который помимо разложения оптического излучения по спектральным каналам обеспечивает изменение коэффициентов пропускания в каждой полосе. Для этого в соответствии с программой формируются управляющие сигналы f_1, \dots, f_n . В результате фильтрации создается полутоновое изображение $Y(i, j)$, которое подается на пороговое устройство (ПУ). На выходе порогового устройства формируется бинарное изображение динамического транспаранта (маски), которое далее умножается на сигнал с выхода изображающего спектрометра. В итоге, на выходе формируется сигнал $I_{1\text{вых}}(i, j), \dots, I_{n\text{вых}}(i, j)$, в котором функция $Y(i, j)$, в точках $(i, j) \in \Omega_\phi$ принимает нулевое значение.

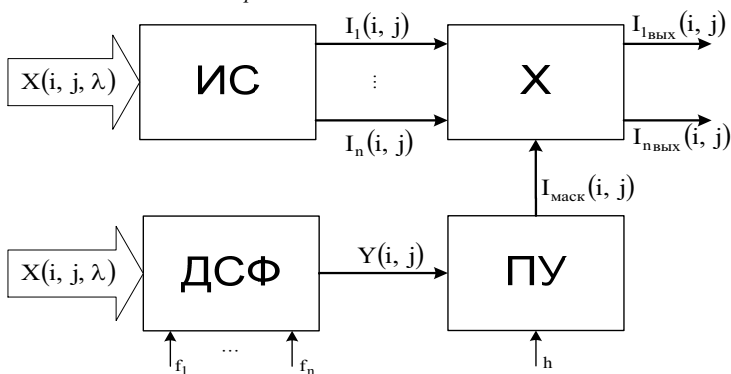


Рис. 2. Схема оптико-электронной системы, обеспечивающей уменьшение информационной избыточности.

Моделирование процесса уменьшения информационной избыточности. Предлагаемый метод уменьшения избыточности информации в гиперспектральных системах дистанционного зондирования Земли в конечном итоге сводится к выделению в текущих изображениях требуемых спектральных фрагментов, при этом полагают, что именно эти фрагменты содержат требуемую информацию.

Для проверки этих положений была построена математическая модель, позволяющая выделить на цветных изображениях фрагменты с требуемыми спектральными свойствами в соответствии со схемой, представленной на рис.2. В основу математической модели положены методы цифровой обработки изображений, основанные на принципах динамической спектральной фильтрации оптического излучения, которые состоят в следующем.

Во-первых, в соответствии с используемой цветной моделью RGB каждый элемент обрабатываемого цветного изображения с координатами (i, j) представляется в виде вектора $\vec{X}_{i, j} = [x_R(i, j), x_G(i, j), x_B(i, j)]^T$ в трехмерном евклидовом пространстве, где x_R, x_G, x_B – значения яркости, измеренные в красном (R-red), зеленом (G-green) и синем (B-blue) спектральных каналах [4].

Во-вторых, предполагается, что процесс спектральной фильтрации состоит в вычислении скалярного произведения вектора элемента обрабатываемого цветного изображения \vec{X} и фильтра \vec{F} .

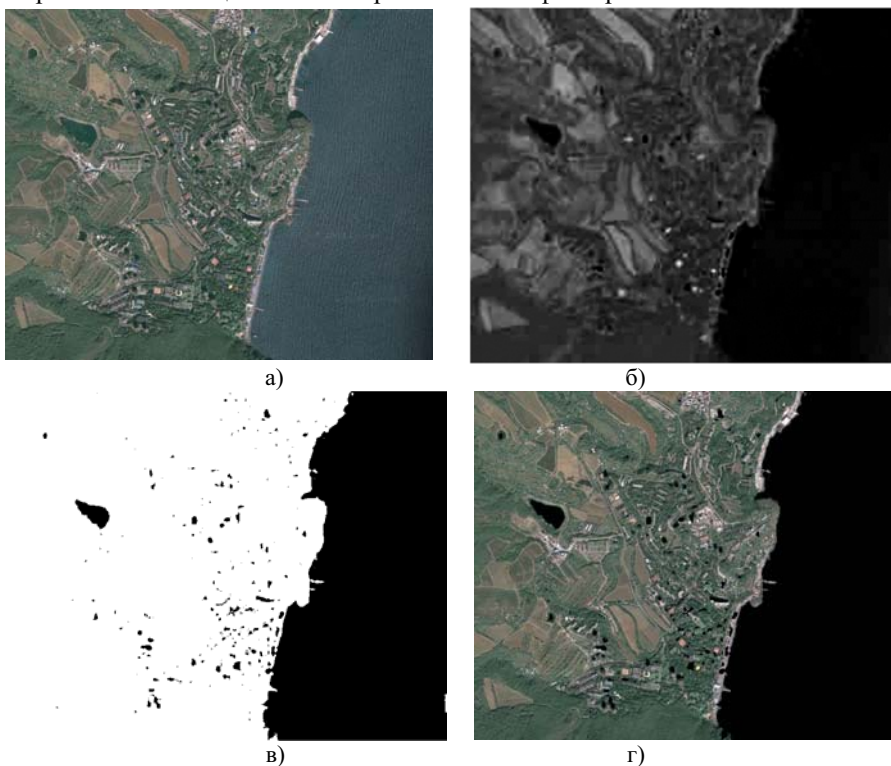


Рис.3. К пояснению результатов математического моделирования уменьшения информационной избыточности

В качестве обрабатываемого изображения при моделировании использовалось цветное изображение (рис. 3а), значительную часть которого занимала морская поверхность с характерными спектральными характеристиками. Для проверки работоспособности предложенного метода, была поставлена задача, состоящая в том, что исследуются только объекты, которые располагаются на суше. При этом излучение, отраженное морской поверхностью, являлось помехой или фоном, а береговая зона выступала в качестве искомого объекта.

Полутоновое изображение с выхода динамического спектрального фильтра, на котором береговая зона, как искомый объект, имеет повышенную яркость, представлено на рис. 3б. На рис. 3в показано, изображение с выхода порогового устройства, которое имеет бинарный характер, а на изображении (рис. 3г) после умножителя отсутствуют фрагменты, спектральные свойства которых близки к спектральным свойствам морской поверхности.

Помимо визуальной оценки эффективности уменьшения информационной избыточности при математическом моделировании производилось вычисление объема информации до и после обработки. При этом объем информации до обработки $I_{\text{вх}}$ вычислялось с использованием выражения [4]

$$I_{\text{вх}} = k \cdot n \cdot b, \quad (1)$$

где k – количество пространственных элементов разрешения на изображении, n – количество спектральных каналов, b – количество уровней квантования по яркости; а объем информации после обработки $I_{\text{вых}}$ вычислялось с использованием соотношения:

$$I_{\text{вых}} = k \cdot n \cdot (r b_1 + (1-r) b_2), \quad (2)$$

где $r = k_1/k$, k_1 – количество пространственных элементов разрешения на изображении фона, b_1 – количество уровней квантования по яркости для изображения фона, b_2 – количество уровней квантования по яркости для изображения искомого объекта. Очевидно, что $b_2 = b$, а $b_1 = 2^0$. Это связано с тем, что количество информации, получаемой на выходе изображающего спектрометра, должно быть наименьшим и в то же время должно содержать все сведения, необходимые для успешного решения поставленной задачи [6].

Расчет объема информации с использованием выражений (1) и (2) производился при следующих условиях: обрабатываемое изображение (рис. 3 а) состояло из 721×593 элементов разрешения, при этом яркость квантовалась 256 уровнями, т.е. $b = 2^8$, а количество элементов разрешения на изображении фона составляло $2.8 \cdot 10^5$. В результате получены следующие значения объема информации до и после обработки: $I_{\text{вх}} = 3.3 \cdot 10^8$, $I_{\text{вых}} = 1.15 \cdot 10^8$. Это означает, что в результате обработки с использованием

разработанного метода удалось почти в три раза уменьшить объем информации на выходе изображающего спектрометра.

Выводы. Показано, что уменьшение избыточности информации в гиперспектральных системах дистанционного зондирования Земли можно обеспечить путем первичной обработки изображений с использованием принципов динамической спектральной фильтрации, которая обеспечивает выделения в текущих изображениях требуемых спектральных фрагментов. Разработана схема оптико-электронной системы, обеспечивающая уменьшение информационной избыточности, а также произведено математическое моделирование, которое обеспечивает формирование в текущих изображениях требуемых спектральных фрагментов.

1. Rapid C4I High Performance Computing for Hyperspectral Imaging Exploitation *Ramseyer, G.O., Spetka, S.E., Linderman, R.W., Romano, B.C.*, Electr. ресурс: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.21.6961&rep=rep1&type=pdf>.
2. *Попов М.А., Станкевич С.А.* Методы оптимизации числа спектральных каналов в задачах обработки и анализа данных дистанционного зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. – 2006. – Т.3, №1. – С. 106-112.
3. *Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г.* Многоспектральные оптико-электронные системы // Спец. Техника. 2002. № 4. С.56-62.
4. *Смирнов Л.Е.* Аэрокосмические методы географических исследований: Учебник. – СПб.: Изд-во С.-Петербургского университета, 2005. – 348 с.
5. *Здор С.Е., Широков В.Б.* Оптический поиск и распознавание. – М: изд-во «Наука», 1973. – 240с.

Поступила 17.06.2010 г.

УДК 621.396

К.С. Козелкова, к.т.н., с.н.с. Центральный науково-дослідний інститут навігації і управління

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТРАДИЦІЙНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЛІНІЙНИХ ПРОЦЕСІВ В РАДІОТЕХНІЧНОМУ КОМПЛЕКСІ НАЗЕМНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ УПРАВЛІННЯ КОСМІЧНИМИ АПАРАТАМИ

В статье представлен аналитический обзор традиционных методов исследования нелинейных процессов в радиотехническом комплексе наземного автоматизированного комплекса управления космическими аппаратами

A state-of-the-art review of traditional methods of research of nonlinear processes is in the radio engineering complex of the surface automated complex of management space vehicles