

# **Метод двойной корреляции** **в анализе многозональной** **видеоинформации**

*В.А. Котцов, В.В. Егоров, Д.Б. Балтер, Стальная М.В.*

Институт космических исследований

Российской академии наук



# Корреляция пары случайных параметров

**Корреляция** — это статистическая мера взаимодействия двух случайных переменных (от латинского «correlatio» – соотношение, взаимосвязь)

*Не следует забывать, что коэффициент корреляции не предполагает существование причинно-следственных взаимосвязей между параметрами, а носит вероятностный характер.*

$$r_{xy} = \frac{\overline{x \cdot y} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sigma(x) \cdot \sigma(y)}$$

Корреляционные методы широко используются в анализе видеоинформации получаемой в системах стереозрения и дистанционного зондирования для отождествления известных объектов или нахождения их положения в поле зрения, для построения карт рельефа по стереоизображениям, для распознавания природы наблюдаемого объекта или его состояния по спектральным или текстурным особенностям, а также решения других задач.

**Для нас была значимой технология по фрагментной корреляции при стерео отождествлении.**

При решении разных задач применяют и различные типы корреляционных оценок предназначенные для анализа взаимодействия различного типа параметров. Кроме парной корреляции используют, множественную корреляцию, каноническую корреляцию и другие.

*Путятин Е.П., Аверин С.И. Обработка изображений в робототехнике. М.: Машиностроение, 1990*

*Мальцев Г.Н., Луцай С.И. Корреляционное распознавание объектов по многоспектральным данным.*

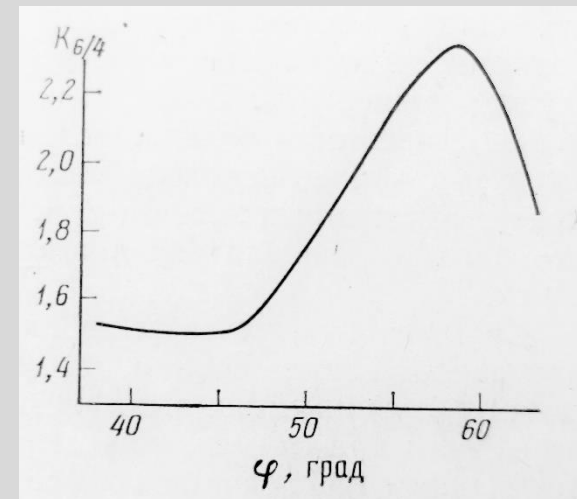
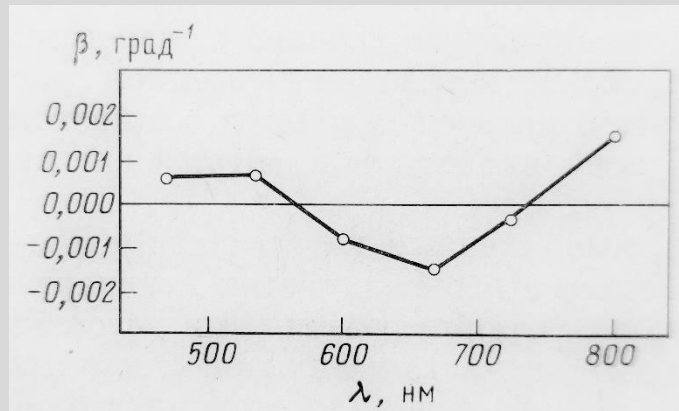
*Оптический журнал, т.71, №11, 2004.*

# Корреляция групп случайных параметров

Множественный коэффициент корреляции характеризует тесноту линейной корреляционной связи между одной случайной величиной и некоторым множеством (группой) случайных величин.

**Канонический корреляционный анализ** (Canonical Correlation Analysis). Он был разработан Хотеллингом [Hotelling, 1936] для выявления корреляционных связей между двумя группами случайных величин и является естественным обобщением определения множественной корреляции. Это способ получения информации из матриц взаимной корреляции.

**Анализ широтных изменений спектральных характеристик по результатам съемки МКФ-6 с КА Союз 22.**



*Котцов В.А. Наблюдение широтных изменений состояния растительного покрова из космоса.*

*Исследования Земли из космоса. №1, 1984*

# Корреляционный портрет

**Корреляционный портрет** — это сама матрица межканальных корреляций (ковариаций), рассчитанная по выбранному фрагменту изображения, например.

Если рассматривать двумерную корреляционную матрицу, как изображение например, связывая величину частных значений корреляции наблюдаемых параметров между зонами спектра с условными яркостями, то эти изображения можно между собой сравнивать.

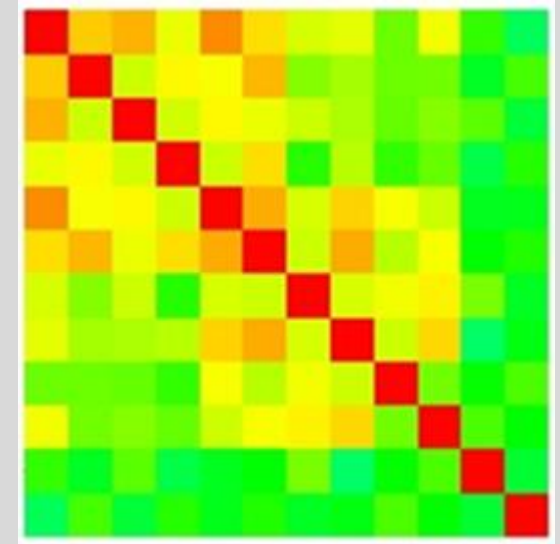
Информационное содержание корреляционной матрицы характеризует наблюдаемый объект, его особенности и поэтому можно считать получаемую структуру его **корреляционным портретом**.

В качестве примера здесь представлены два корреляционных портрета для участков *водной поверхности* (сверху) и *посевов зерновых* (снизу), которые имеют характерный для корреляционных матриц диагонально симметричный вид

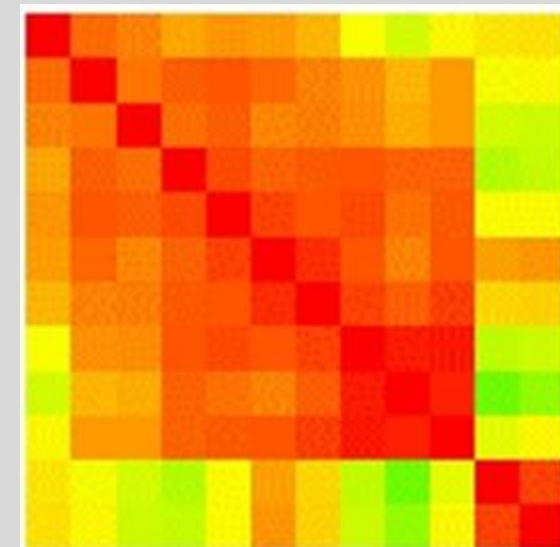
*Балтер Б.М., Егоров В.В., Котцов В.А., Стальная М.В. (2009) Корреляционные портреты гиперспектральных данных дистанционного зондирования, Всероссийская научно-техническая конференция "Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов". Таруса, 22-25 сентября 2008. Сборник трудов. ИКИ РАН, 2009*

*Lee, C., Landgrebe D. A., (1992) Analyzing High Dimensional Data, Proc. IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium (IGARSS), p. 561-563, May 1992*

*водная поверхность*



*посевы зерновых*



# Преобразование координат в пространстве параметров

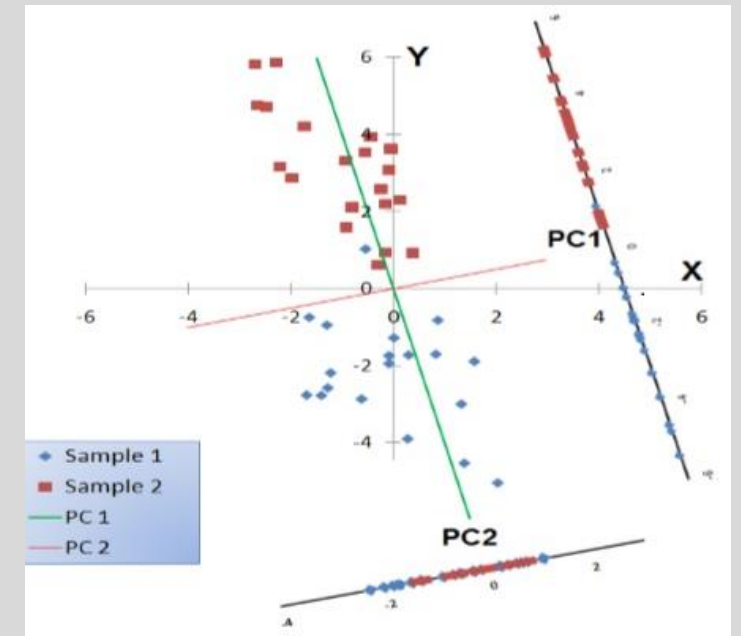
Матрица взаимной корреляции (ковариации) между наблюдаемыми параметрами позволяет перейти к ортогональному базису, который минимизирует размерность исходного описания *соответствующего* числу параметров.

Оси нового базиса ориентируют в направлении максимума дисперсии для каждой из новых ортогональных составляющих. Описываемая дисперсия быстро убывает и только несколько первых, главных компонент будут иметь значимые величины описываемой дисперсии. Составляющие, для которых эти дисперсии будут не значимы, могут быть отброшены.

Недостаток такого подхода в том, что максимум дисперсии не для всех задач соответствует максимуму информативности.

## Метод главных компонент

principal component analysis,



*Андерсон Т. Введение в многомерный статистический анализ. М. Физматгиз, 1963*

*Чесноков Ю.М., Котцов В.А. О выборе спектральной чувствительности систем исследования Земли из космоса. УФН, 1975, 116, вып.4*

# Метод двойной корреляции для распознавания

Для идентификации типа объектов или их состояний нами предложен способ основанный на использовании уникальности корреляционных свойств объектов наблюдаемых в разных зонах спектра для разных эталонных образцов (корреляционных портретов).

Сущность предложения заключается в определении соответствия путем оценивания корреляции «второго уровня», а именно корреляции между структурой корреляционной матрицы наблюдаемых объектов и структурой корреляционной матрицы выбранного эталона.

Учитывая технологию определения этого значащего параметра, такой способ можно назвать способом повторной или «двойной корреляции».

*Патент РФ № 2586405, Балтер Б.М., Егоров В.В., Котцов В.А.  
Способ преобразования изображения, 2016.*

RUSSIAN FEDERATION

(19) RU (11) **2 586 405** (13) C1

(51) Int. Cl. G06T 5/50 (2006.01)

FEDERAL SERVICE FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: 2015118140/28, 15.05.2015

(24) Effective date for property rights: 15.05.2015

Priority:

(22) Date of filing: 15.05.2015

(45) Date of publication: 10.06.2016 Bull. № 16

Mail address: 117997, Moskva, ul. Profsojuznaja, 84/32, IKIRAN, zam. direktora Kostenko V.I.

(72) Inventor(s): Balter Boris Mikhaĭlovich (RU), Egorov Viktor Valentinovich (RU), Kottsov Vladimir Aleksandrovich (RU)


(73) Proprietor(s): Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe uchrezhdenie nauki Institut kosmicheskikh issledovanij Rossijskoj akademii nauk (RU)

(54) IMAGE TRANSFORMATION METHOD

(57) Abstract: FIELD: formation of images; data processing. SUBSTANCE: invention relates to methods of converting multi zonal or spectral video information, mainly for remote probing. What is presented to generate image based on fragment wise viewing of obtained multi zonal or spectral video information and comparison of matrices of inter-channel correlations for each fragment with matrix inter-channel correlations standard selected on images or from a priori data. Comparison can be performed by determining their correlation.

EFFECT: reduced dimensions of initial video information and resistance to changes in observation conditions.

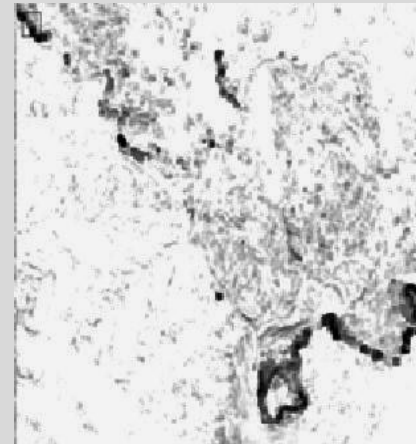
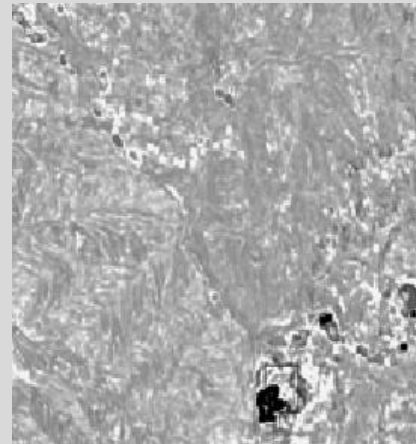
1 cl, 2 dwg



RU 2 586 405 C 1

# Пример анализа лесного пожара

Для демонстрации возможностей применения корреляционного анализа использованы материалы съемки гиперспектрометром AVIRIS, выполненные с самолета в районе лесного пожара.



По результатам гиперспектральной съемки было выполнено корреляционное преобразование. На трех снимках показаны полученные результаты анализа разных форм распространения лесного пожара.

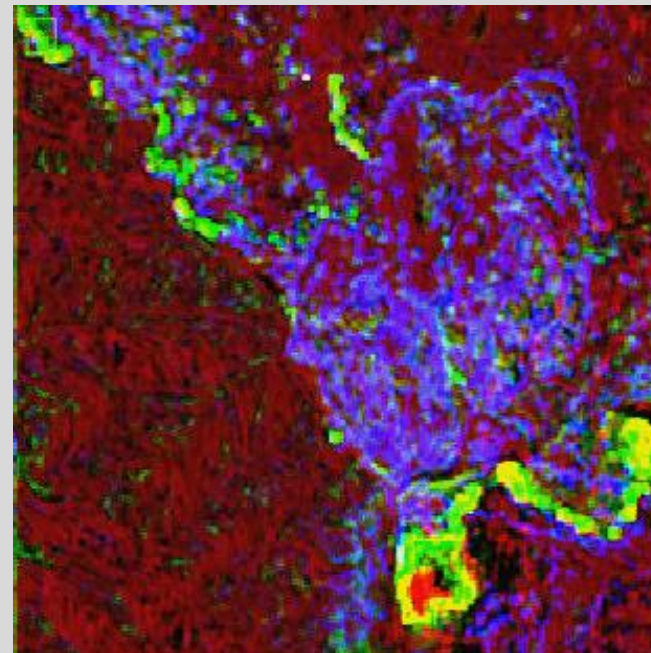
**Как оказалось, такая корреляционная оценка весьма чувствительна к пространственным вариациям тонких спектральных различий классифицируемых объектов.**

# Результат комплексной оценки пожара

## Отдельные изображения можно комплексировать в цветном синтезированном изображении

Если формируется несколько результирующих изображений, то каждое изображение отражает степень сходства всей совокупности характеристик пространственно-спектральной изменчивости различных участков территории с соответствующими характеристиками своего эталонного объекта..

Эксперименты показывают, что предложенный подход к использованию в качестве идентифицирующего признака корреляционное сопоставление структур межканальных корреляционных матриц наблюдаемого участка и эталона (двойную корреляцию), во многих случаях **обеспечивает устойчивое распознавание.**



Цветосинтезированное изображение комплексного представления результатов полученных для трех разных целей:

*красный* – с очагом пожара,

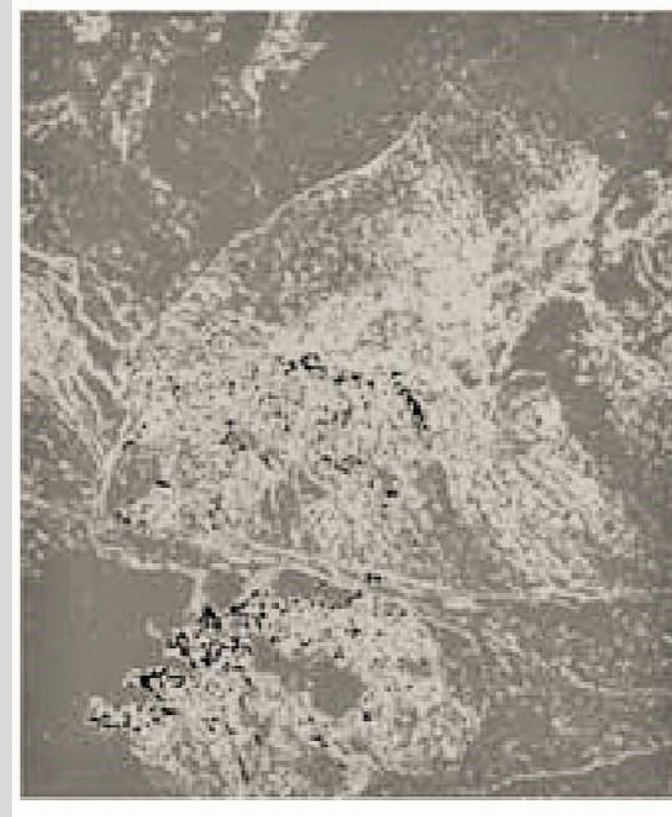
*зеленый* – фронт пожара,

*синий* – с мелкими возгораниями



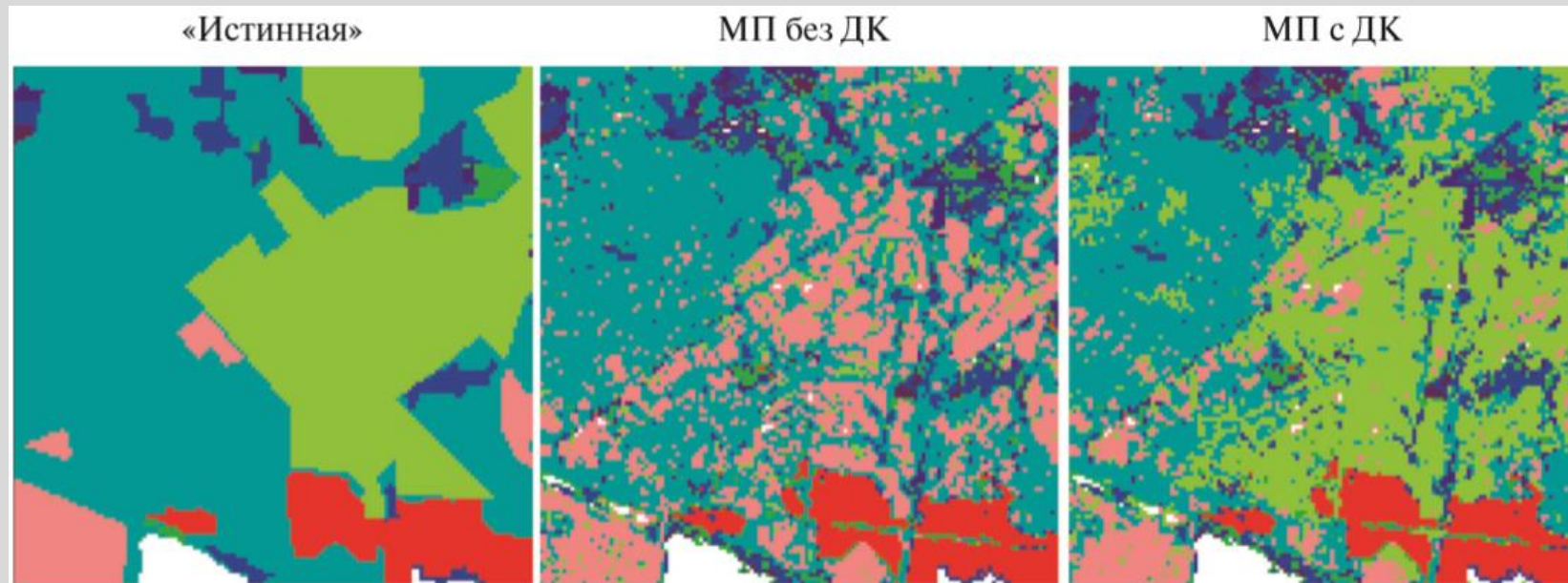
## Пример анализа геологии участка

Для изображений, в которых, в силу высокого пространственного разрешения, не характерно смешивание разных объектов в одном пикселе, и корреляционные карты могут быть относительно невыразительны.



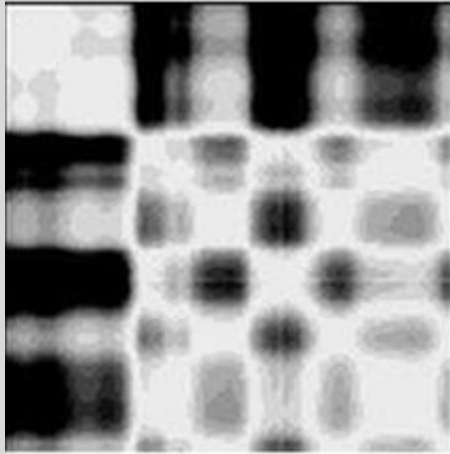
## Возможность комплексирования методов

Как показывает экспериментальная проверка, метод двойной корреляции может служить хорошим дополнением к методам классификации, ориентированным только на средние спектральные показатели. Так например, в некоторых случаях он может существенно повысить эффективность распознавания при совместном применении с **методом максимума правдоподобия (МП)**.

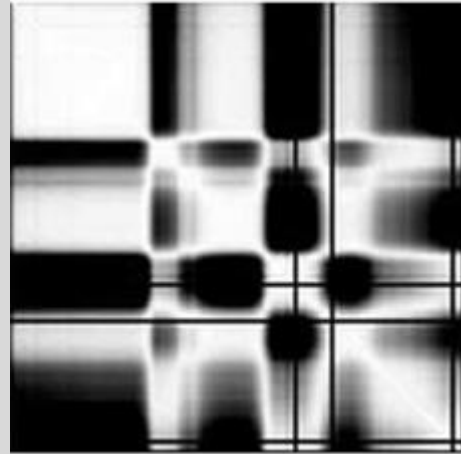


*Балтер Б.М., Егоров В.В., Котцов В.А., Фаминская М.В. Распознавание категорий наземных объектов на основе корреляционных портретов с применением в модели рассеяния атмосферных загрязнений / Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. т. 16. № 2*

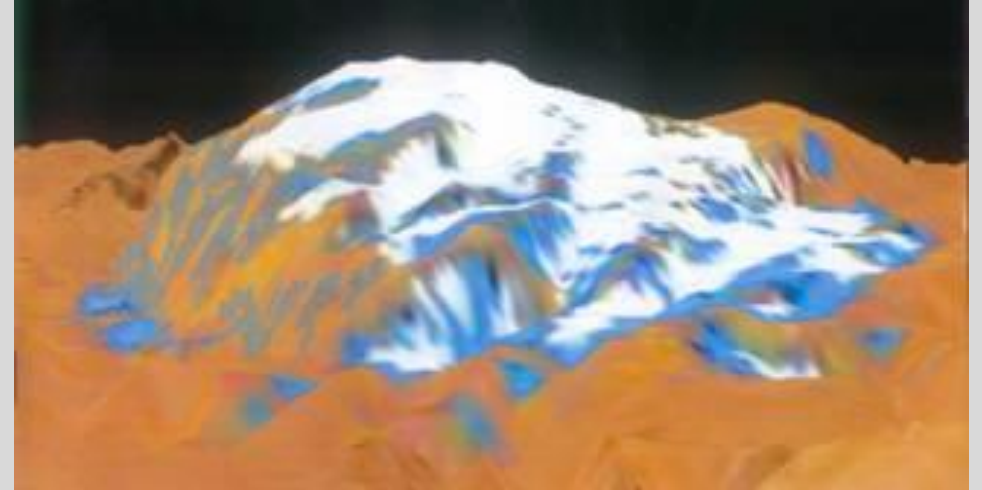
# Вычисление эталонного корреляционного портрета



*по лабораторным спектрам*



*по данным наблюдений*



По наблюдениям видеоспектрометра ОМЕГА с КА «Марс Экспресс» определялось распределение пропорций содержания льда  $\text{CO}_2$  и льда  $\text{H}_2\text{O}$  в южной полярной шапке Марса (на правом рисунке).

**На рисунке слева показаны два корреляционных портрета полученных в диапазоне 0.95 – 2.65 мкм для льдов Марса**

**Левый** корреляционный портрет смоделирован по лабораторным спектрам веществ, а **правый** корреляционный портрет получен по данным наблюдений с орбиты. (Белый цвет соответствует коэффициенту корреляции 1, черный – 0).

**Подобие характеристик этих двух корреляционных портретов очевидно.**

*Балтер Б.М., Балтер Д.Б., Котцов В.А. Обработка гиперспектральных данных по Земле и Марсу. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2006.*

# Применение метода для бортовых цифровых систем

## Применение диадной корреляции для цифровых бортовых комплексов

$$Z(m) = \frac{1}{N} \sum_{p=0}^{N-1} X(p)Y(m+p)$$

где  $p$  - дискретный временной сдвиг.

$$Z_g(m) = \frac{1}{N} \sum_{g=0}^{N-1} X(g)Y(m \oplus g),$$

где  $g$  - дискретный временной сдвиг в хемминговой метрике.

*Хармут Х. Теория секвентного анализа: основы и применения. –М.: Мир, 1980*

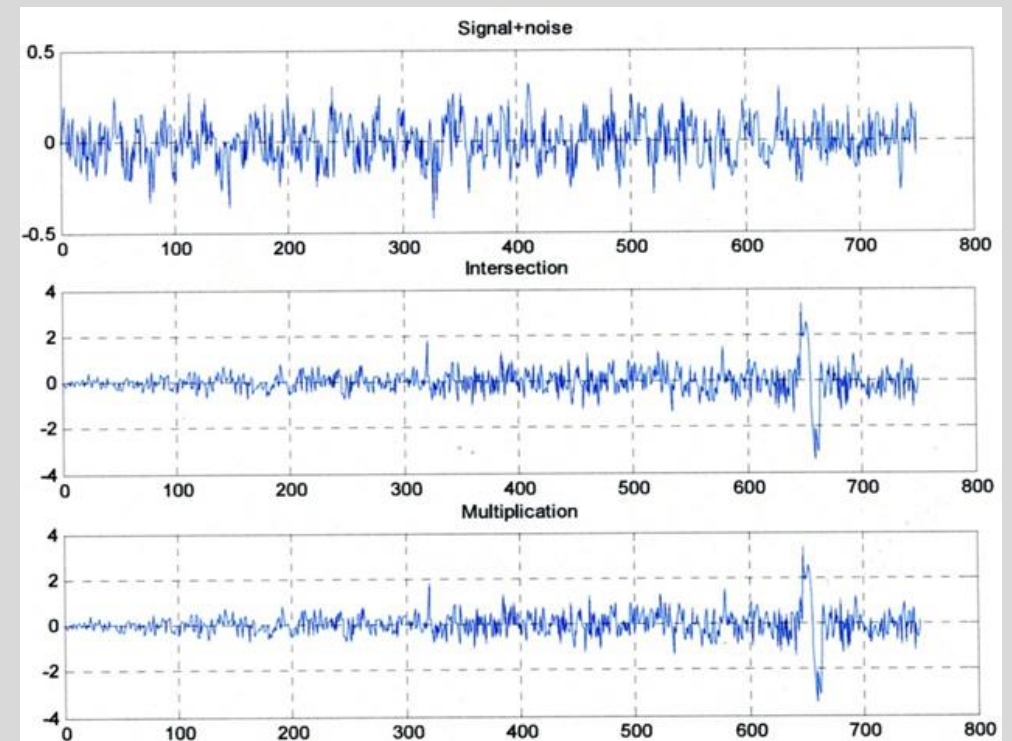
## Определение корреляции на основе пересечения

$$\rho_1 \equiv \cos \varphi \cong \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n y_i^2}}$$

$$\rho_{\cap} \equiv \cos \Delta \varphi_{\cap} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cap y_i)}{\sum_{i=1}^n |x_i|}$$

Экспериментальное сравнение качества работы традиционного определения корреляции и определения на основе пересечения показало, что в условиях помех техническое решение на основе пересечения является более устойчивым.

*Гордиенко В.И. Алгоритмы обнаружения сигналов на основе понятия скалярное пересечение / Радиотехника №7, 1992*



# Заключение

Эксперименты показывают, что предложенный подход (двойную корреляцию) к использованию в качестве идентифицирующего признака корреляционное сопоставление структур межканальных корреляционных матриц наблюдаемого участка и эталона, во многих случаях обеспечивает устойчивое распознавание.

Его применение дает результат инвариантный ко многим внешним изменениям условий наблюдения. Эталон может быть вычислен по лабораторным данным.

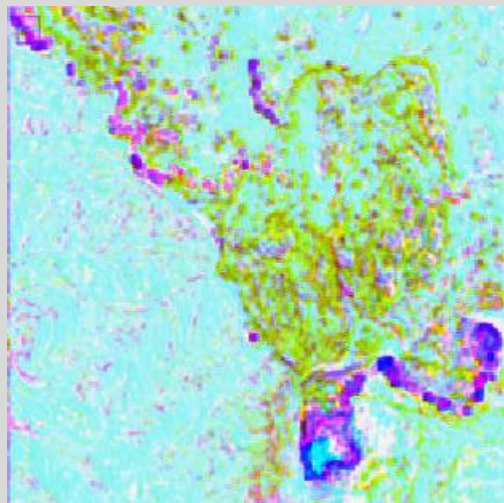
Для каждой целевой задачи можно оптимизировать используемую размерность путем введения ограничений исходя из значимости частных значений корреляции. Такое ограничение оперативно может вводиться автоматически по заданному порогу.

Многопараметрическая информация приводится к максимально простому виду отображения. Результат целевого анализа может быть наглядно представлен черно-белым изображением. Сопоставление таких результатов для разных факторов можно представить в цвете.

Предложенный метод двойной корреляции можно комплексировать с другими методами для повышения их эффективности.

# Спасибо за внимание

ИКИ



Фотокамера МКФ-6

