

## ВЫБОР СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИЗОБРАЖЕНИЯ РАЙОНА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ НАВИГАЦИИ

к.т.н. А.М. Сотников, А.Г. Судаков, В.А. Омелаенко  
( представил д.т.н., проф. Л.Ф. Купченко )

Приведены результаты обоснования выбора статистической модели изображения визируемой поверхности для радиометрических и оптических корреляционно - экстремальных систем навигации (СН).

В настоящее время наблюдается тенденция использования в различных областях исследований средств дистанционного зондирования поверхности Земли, в частности, радиометрических (РМ), формирующих решающую функцию в результате сравнения текущего и эталонного изображений [1].

Надежность и точность привязки корреляционно-экстремальных систем навигации (КЭСН) зависят от точности работы алгоритма сравнения текущего изображения (ТИ) и эталонного изображения (ЭИ) в различных условиях обстановки в реальном масштабе времени. В основе алгоритма используется определенное представление формируемого системой ТИ района привязки. Показано [2], что любая из процедур обработки опирается на модель класса изображений - формализованное описание, выполненное с определенной степенью абстрагирования.

Для определения требуемых тактико - технических характеристик РМ СН и обоснованного выбора алгоритма вторичной обработки сигнала необходимо располагать моделью изображения, которая отражала бы как особенности самой системы, принципы ее функционирования, так и визируемой поверхности (ВП), используемой для привязки.

Анализ известной литературы [1,2] показал, что в настоящее время не существует общепринятой модели геофизических полей. Для представления изображений [2] используются статистический, структурный, структурно-статистический подходы, модели, основанные на пикселах (синтаксические, независимых переменных, пространственного взаимодействия, временных рядов, случайного поля), модели, использующие понятие областей (синтаксические, иерархические, мозаичные, покрытия) (табл. 1).

Таблица 1

## Форма представления изображения для различных типов моделей

Типы модели	Форма представления изображения
Статистические	В терминах статистических свойств пикселей (спектральные, корреляционные характеристики, распределение вероятности и т.д.)
Структурные	На основе структурных примитивов (непроизводных элементов) и правил их размещения
Структурно-статистические	Включает указанное выше представление
Основанные на пикселях:	Ограничивается заданием характеристик пространственного распределения отсчетов $m$ и $n$ изображения
Независимых переменных	Случайным полем белого шума или текстурой с заданной гистограммой
Пространственного взаимодействия	Посредством задания взаимосвязи между пикселями в поле изображения
Синтаксические	Комбинацией символов некоторого алфавита (алфавит - геометрические элементы, формальная грамматика - правила описания объектов и изображения)
Случайного поля:	Установлением взаимосвязи между пикселями в двумерном множестве
Глобальные	В форме единого множества регулярно расположенных соседей
Локальные	В форме ограниченного множества регулярно расположенных соседей (предполагает существование сложного глобального изображения)
Основанные на зонах:	В виде множества зон с определенными свойствами и размещенных по определенным правилам
Синтаксические	Комбинацией символов некоторого алфавита (алфавит - зоны изображения, формальная грамматика - правила описания объектов и изображения)
Иерархические	Зона иерархически включает более мелкие подзоны в виде пирамидальной или древовидной структуры
Мозаичные	В виде мозаичной структуры по некоторому признаку однородных элементов
Покрытия	В виде случайно размещенного некоторого множества объектов или зон с характерными свойствами на однородном фоне

В отдельных случаях все изображение может рассматриваться как единое множество. Такие модели называются глобальными и применяются для пространственно однородных изображений типа текстур, изображений, полу-

ченных от поверхности с известной структурой (типа морской поверхности, земного рельефа), а также изображений сосредоточенных объектов на окружающем шумоподобном фоне.

Другая подгруппа моделей случайного поля - локальные модели - не характеризует природу глобальных вариаций параметров изображения, а описывает свойства пикселей только в ограниченном множестве.

В отличие от моделей, использующих в качестве примитивов пиксели, модели, основанные на зонах [3], описывают изображение в виде множества зон с определенными свойствами, размещенных в плоскости изображения, в соответствии с некоторой группой правил. Вид и свойства зон могут задаваться статистически, сами зоны могут иерархически включать более мелкие элементы (подзоны) в виде пирамидальной или древовидной структуры [4].

Статистические подходы к представлению изображения связаны с применением автокорреляционных функций, описаний в терминах структурных элементов, плотности перепадов, матрицы смежности значений яркости, длин серий и авторегрессивных моделей. Статистическими моделями описывают совокупность точечных элементов изображения и их расположение в пространстве. При этом предполагается, что изображение состоит из статистически однородных зон. Существуют более общие иерархические модели, в которых зоны в свою очередь считаются состоящими из подзон.

Структурный подход к представлению изображений применим только к двухградационным изображениям, имеющим регулярно распределенные по пространству непроецируемые элементы, в качестве которых используют отрезки линий, открытые и замкнутые многоугольники, а правила их расположения заданы синтаксисом грамматики на графах.

В реальных условиях с ЭИ сравнивают ансамбль изображений ВП района привязки. Кроме того, ансамбль изображений будет порожден, если размеры зоны обзора РМ СН будут меньше размеров участка местности в районе привязки, используемом для синтеза ЭИ. Стохастическим в данном случае будет сдвиг ТИ относительно ЭИ. Для определения требуемых характеристик ансамбль изображений необходимо разбивать на группы однородных ансамблей и для каждого из них определять существующие характеристики.

Исходя из случайного характера изображений ВП подход к представлению должен быть статистический. В рассматриваемом случае, для ансамбля изображений оптимальной меры сходства не существует. Поэтому, учитывая, то обстоятельство, что при определенных допущениях РМ СН является линейной системой, целесообразно использовать линейные меры сходства, так как они просты и оптимальны для гауссового сигнала.

Известно, что любая линейная мера сходства может быть выражена через корреляционную функцию. Поэтому в качестве модели текущего РМ изображения может быть выбрана взаимная корреляционная функция. Так как плотность вероятности изображения неизвестна, то для определения корреляционной функции ЭИ представим визируемую РМ СН поверхность  $S(\mathbf{m})$ ,

**n**) как совокупность однородных зон и покровов  $A_i$ , каждый из которых характеризуется свойственной ему радиояростной температурой  $T_{Ri}^0$ , одинаковой в пределах зоны (рис.1) и не зависящей от метеоусловий

$$S(\mathbf{m}, \mathbf{n}) = \sum_i T_{Ri}^0 r_i(\mathbf{m}, \mathbf{n}), \quad (1)$$

где  $r_i(\mathbf{m}, \mathbf{n}) = \begin{cases} 1, & \text{если } \mathbf{m}, \mathbf{n} \in A_j \\ 0, & \text{если } \mathbf{m}, \mathbf{n} \notin A_j \end{cases}$  - индикаторная функция.

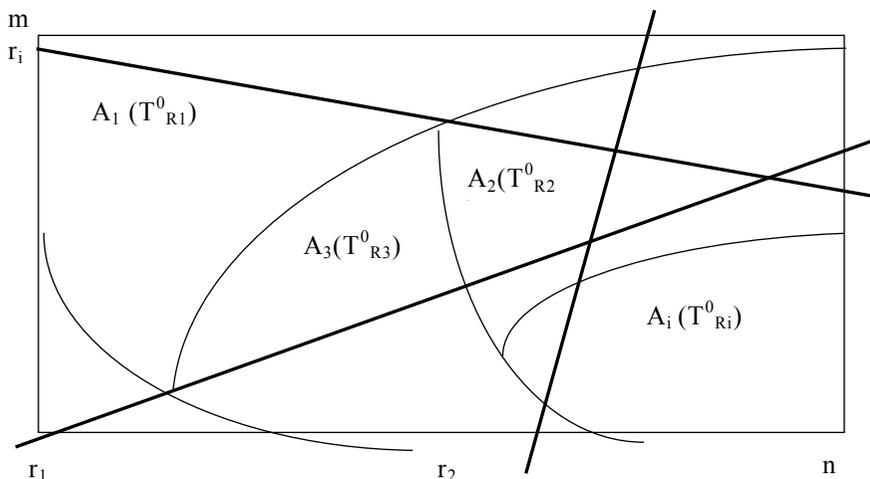


Рис.1. Представление визуруемой поверхности в виде совокупности однородных зон

Тогда изображение ВП в представлении (1) в одном из любых возможных направлений  $\vec{r}$  в сечении будет иметь вид, аналогичный обобщенному телеграфному процессу.

Известно [5], что корреляционная функция такого процесса

$$R(\mathbf{r}) = \exp(-\alpha |\mathbf{r}|), \quad (2)$$

где  $\alpha = 1/\tau_k$  - величина обратная интервалу корреляции.

Если допустить, что статистические свойства однородных зон поверхности одинаковы, то их можно считать изотропными. В этом случае достаточно функцию корреляции (2) определять по одной координате ( $\mathbf{m}$  или  $\mathbf{n}$ ). Тогда функция корреляции ТИ для бесконечно большой выборки равна

$$R(\mathbf{r}) = \exp(-\alpha |\vec{r}|). \quad (3)$$

Для конечной большой выборки корреляционная функция (3) будет асимптотически приближаться к экспоненте. Таким образом, проведенный нами анализ принципов формирования ТИ РМ СН позволил предложить в качестве стохастической модели представления ТИ корреляционную функ-

цию обобщенного телеграфного процесса для любого участка ВП с соответствующим конкретному району интервалом корреляции.

Другие существующие подходы к представлению информации о текущем изображении не могут быть использованы для РМ СН, так как для них не характерна зонная структура устойчивых к воздействию параметров геофизических полей Земли. В [1] показано, что размещение на носителе РМ датчика обеспечивает эффективную работу КЭСН над любыми территориями, которые имеют интенсивное антропогенное развитие и дают хорошие данные для формирования радиометрических и оптических изображений. Оптические изображения также могут быть представлены телеграфным процессом, так как в основу формирования ЭИ положены результаты аэрофотосъемки, обуславливающие их зонную структуру.

Таким образом, обоснован статистический подход к описанию визируемой поверхности, предложена зонная структура изображений, позволяющая в основу модели изображения положить обобщенный телеграфный процесс. Кроме того, такой подход может быть использован для представления оптических изображений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ржевкин В.А. Автономная навигация по картам местности // Зарубежная радиоэлектроника. – 1981. – № 10. – С. 3 - 28.
2. Белокуров А.В., Сечко В.В. Стохастические модели в задачах анализа и обработки изображений // Зарубежная радиоэлектроника. – 1989. – № 5. – С. 3 - 18.
3. Хомяков Ю.Н., Саушкин В.А. Методы классификации текстур // Зарубежная радиоэлектроника. – 1986. – № 2. – С.33 - 46.
4. Денисов В.М., Матвеев Ю.Н., Очин Е.Ф. Принципы организации систем обработки измерений на базе клеточной логики // Зарубежная радиоэлектроника. – 1984. – № 1. – С. 3 - 19.
5. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Т1. – М.: Сов. радио, 1974. – 549 с.

*Поступила в редколлегию 30.08.2000*

---