

УДК 530.1.537.86+621.396.96

О.С. Бутенко¹, В.К. Иванов², Р.Э. Пашенко²¹ *Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков*² *Институт радиопрофики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины, Харьков*

СИНТЕЗ РЕШАЮЩЕГО ПРАВИЛА СЕЛЕКЦИИ АНТРОПОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФРАКТАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ

Рассмотрена возможность применения критерия максимального правдоподобия для синтеза решающего правила селекции антропогенных объектов, если в качестве отличительного признака используется величина фрактальной размерности. Приведено описание проведения экспериментальных исследований отраженных сигналов от подстилающей поверхности и антропогенных объектов. Представлены результаты синтеза решающего правила селекции антропогенных объектов и показано, что решение о селекции принимается по наименьшему значению фрактальной размерности.

Ключевые слова: селекция антропогенных объектов, решающее правило, фрактальная размерность.

Постановка проблемы и анализ литературы

В настоящее время при решении задач дистанционного зондирования Земли большой практический интерес представляют: оценка состояния подстилающей поверхности (оценка момента перехода поверхности из одного состояния в другое) и селекция антропогенных объектов на фоне подстилающей поверхности [1]. При этом задачу селекции можно сформулировать следующим образом [2]: при известных отличиях между распределениями значений признаков объектов различных классов и составе конкретной выборки объектов по измеренным значениям признаков всех наблюдаемых объектов необходимо принять решение о том, какой именно из этих объектов относится к интересующему классу.

Экспериментальное исследование отраженных радиолокационных сигналов показывает, что различная сложность подстилающих поверхностей и объектов наблюдения приводит к различным формам отраженного сигнала. Характеристикой формы сигналов и изображений может служить величина фрактальной размерности [3], а различие форм отраженных сигналов в свою очередь приводит к различным величинам фрактальной размерности. Данный факт позволяет использовать величину фрактальной размерности в качестве отличительного признака при селекции антропогенных объектов на

фоне подстилающей поверхности [4]. В настоящее время в статистической радиотехнике при синтезе правил принятия решений используются критерий минимума среднего риска, минимаксный критерий, критерии Неймана-Пирсона и идеального наблюдателя, критерий максимума апостериорной вероятности, а также критерий максимального правдоподобия [5, 6].

В связи с тем, что при решении задачи селекции необходимо выделить в некоторой группе объектов только один объект, который относится к интересующему наблюдателя классу, то в качестве показателя эффективности селекции в этом случае целесообразно использовать вероятность правильного выделения объекта [7]. Если принимается ошибочное решение, то не имеет значения, какой именно из объектов фонового класса был использован в качестве истинного. Вероятность правильного решения и вероятности ошибочных решений в сумме равны единице, т.к. они образуют полную группу несовместных событий. Поэтому в качестве показателя эффективности селекции целесообразно выбрать вероятность правильной селекции [2]. При этом любое решающее правило, которое обеспечивает максимум вероятности правильной селекции, обеспечивает одновременно минимум среднего риска. Поэтому критерий минимума среднего риска при синтезе решающих правил селекции не применяется [2]. Минимаксный критерий и критерии Неймана-Пирсона и идеального наблюдателя

теля также не используются при синтезе алгоритмов селекции, т.к. в их основе лежит концепция ошибок первого и второго рода [7].

Если при решении задачи селекции не используется априорное разделение пространства реализаций, а каждому классу объектов ставится в соответствие некоторое значение априорной вероятности, то можно использовать критерий максимума апостериорной вероятности. Однако такая ситуация при селекции маловероятна, обычно до начала наблюдения все объекты являются полностью равновероятными. Поэтому данный критерий при синтезе на практике не применяют, а используют критерий максимального правдоподобия [2].

Представляет практический интерес рассмотрение возможности применения критерия максимального правдоподобия для синтеза решающего правила селекции антропогенных объектов, если в качестве отличительного признака используется величина фрактальной размерности.

Цель статьи: рассмотреть порядок синтеза решающего правила селекции антропогенных объектов на фоне подстилающей поверхности с использованием фрактальной размерности.

Краткое описание эксперимента

При использовании критерия максимального правдоподобия необходимо знание плотности распределения значений признака, используемого при селекции (плотности распределения фрактальных размерностей). Для получения и исследования отраженных от подстилающей поверхности и антропогенных объектов радиолокационных сигналов, а также нахождения законов распределения фрактальных размерностей, в институте радиофизики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины был проведен экспериментальные исследования. Основными элементами экспериментальной установки были моноимпульсная (простой сигнал, длительность импульса $\tau_{\text{и}}=0,4$ мкс) радиолокационная станция (РЛС “Кредо”), работающая в сантиметровом ($\lambda = 1,8$ см) диапазоне длин волн, осциллограф, частотомер, аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) и персональный компьютер (ПЭВМ).

Принимаемый (исследуемый) сигнал формировался при последовательном отражении излученного импульса от элементов подстилающей поверхности и антропогенных объектов, расположенных вдоль выбранной трассы зондирования. При этом положение диаграммы направленности в азимутальной и угломестной плоскостях фиксировалось (задавалась трасса зондирования). Анализируемый интервал дальности составлял 7,5 км (50 мкс). Отраженный от поверхности аналоговый радиолокационный сигнал переносился в РЛС на промежуточную частоту $f_{\text{пр}} = 7,5$ МГц в полосе частот 5 МГц, затем преобразовывался в АЦП (частота дискретизации $f_{\text{д}} = 100$ МГц, разрядность 1024 дис-

крет) в цифровую форму и сохранялся в памяти ПЭВМ для дальнейшей обработки.

На рис. 1, а, б приведены соответственно вертикальное сечение трассы зондирования (профиль местности) и отраженный сигнал (со всего анализируемого интервала дальности) при зондировании.

На трассе зондирования по дальности (рис. 1, а) находились соответственно: технические постройки 1, луг 2, коттеджи 3, деревья 4, ручей 5, деревья 6, река 7, деревья 8, поле 9, высотные дома 10. Координаты основных элементов трассы (точка стояния РЛС, река 7, поле 9, высотные дома 10) определялись с использованием приемника системы GPS.

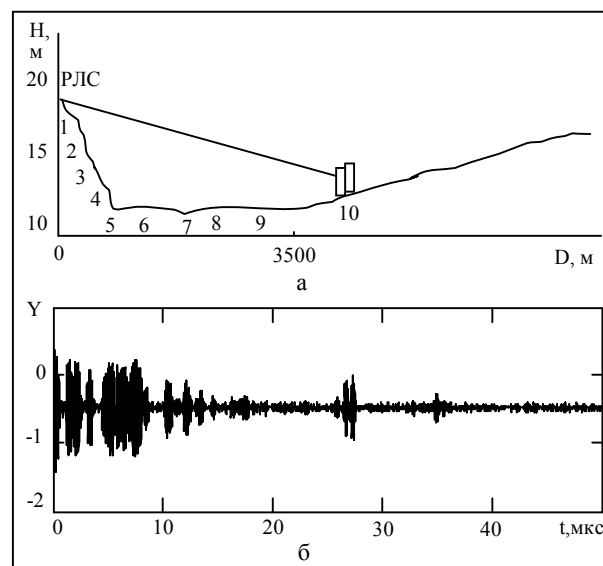


Рис. 1. Профиль трассы зондирования (а) и отраженный сигнал со всего анализируемого интервала дальности (б)

Зафиксированные в цифровом виде реализации отраженного радиолокационного сигнала позволили провести анализ его формы, рассчитать фрактальные размерности и определить закон их распределения.

Рассмотрим ситуацию, которая наблюдалась при проведении эксперимента, когда среди наблюдаемых объектов находился только один объект первого класса (антропогенный объект – многоэтажные дома), а все остальные объекты относились к нулевому классу (подстилающая поверхность – отражения от луга, деревьев, водных поверхностей, полей и т.п.). Эта информация была известна до начала эксперимента в результате визуального наблюдения трассы зондирования. По измеренной временной реализации сигнала $u(t)$ вычислялся функционал некоторого признака (фрактальной размерности D) каждого класса объектов $D[u(t)]$. Плотности распределения значений признака D для первого $f_1(D)$ и нулевого $f_0(D)$ классов определялись в результате эксперимента, и для обоих классов объектов плотность распределения фрактальных размерностей можно аппроксимировать нормальным законом.

Синтез решающего правила селекции антропогенных объектов

Синтез алгоритмов селекции в статистической радиотехнике [2], как правило, включает в себя разработку правил вычисления функционалов $D[u(t)]$, правил принятия решений по вычисленным значениям функционалов и методов аппаратурной реализации этих правил. Поскольку в настоящее время в качестве аппаратурной реализации методов обработки радиолокационной информации широко используют персональные компьютеры, а методы вычисления фрактальной размерности временных реализаций $u(t)$ (вычисление функционала $D[u(t)]$) описаны в [3, 4], то при синтезе алгоритма селекции антропогенных объектов с использованием фрактальной размерности рассмотрим только правило принятия решения селекции.

Критерий максимального правдоподобия можно рассматривать как критерий максимума апостериорной вероятности при самом неблагоприятном равномерном распределении априорных вероятностей. Воспользуемся данным критерием для синтеза решающего правила селекции антропогенного объекта на фоне подстилающей поверхности с использованием фрактальных размерностей.

Результат расчета фрактальной размерности (D) для объекта с номером i обозначим через D_i . Под выборкой \mathbf{D} будем понимать совокупность значений D_i , рассчитанных для каждого из объектов группы, находящихся на трассе зондирования, т.е.

$$\mathbf{D} \equiv \{D_i\} \equiv \{D_1, \dots, D_i, \dots, D_n\}. \quad (1)$$

Пусть гипотеза H_i состоит в том, что i -й объект является антропогенным, т.е. истинным. При рассмотренной выше постановке задачи селекции это означает, что все остальные объекты на трассе зондирования являются ложными. Плотность вероятности получения выборки \mathbf{D} при условии, что верна гипотеза H_i , можно представить в виде

$$f(\mathbf{D}|H_i) = f_1(D_i) \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n f_0(D_j) = l_i \prod_{j=1}^n f_0(D_j), \quad (2)$$

где $l_i = \frac{f_1(D_i)}{f_0(D_i)}$ – отношение правдоподобия; $f_1(D_i)$,

$f_0(D_i)$ – плотности распределения значений признака D для первого и нулевого классов.

Апостериорную вероятность гипотезы H_i при условии получения выборки \mathbf{D} можно рассчитать по формуле Байеса

$$P(H_i|\mathbf{D}) = \frac{P_i f(\mathbf{D}|H_i)}{\sum_{j=1}^n P_j f(\mathbf{D}|H_j)} = \frac{P_i l_i}{\sum_{j=1}^n P_j l_j}, \quad (3)$$

где P_i, P_j – распределения априорной вероятности i -го и j -го объектов.

Если решения принимаются по критерию максимума апостериорной вероятности, то решающее правило при селекции будет иметь вид

$$P_i l_i > P_j l_j \quad \forall j \neq i \Rightarrow H_i. \quad (4)$$

Если все $P_i = 1/n$, т.е. при равномерном распределении априорных вероятностей, используется критерий максимального правдоподобия и решающее правило упрощается

$$l_i > l_j \quad \forall j \neq i \Rightarrow H_i. \quad (5)$$

Из решающих правил (4) и (5) видно, что решение при селекции принимается по информации, полученной относительно всех объектов наблюдаемой группы, и данные решающие правила пороговым не являются. Таким образом, синтезированное решающее правило селекции предполагает ранжирование отношений правдоподобия и выбор наименьшего или наибольшего значения. Рассмотрим применение решающего правила (5).

Экспериментальное исследование значений фрактальных размерностей (D) на трассе зондирования показывает, что для обоих классов (антропогенный объект и подстилающая поверхность) фрактальные размерности распределены по закону, который может быть аппроксимирован нормальным с различными математическими ожиданиями m_0 и m_1 :

$$f_{1(0)}(D) = \frac{1}{y\sqrt{2p}} \exp\left[-\frac{(D-m_{1(0)})^2}{2y^2}\right]. \quad (6)$$

Тогда с точностью до независимых от D сомножителей отношение правдоподобия будет иметь вид

$$l(D) = \exp\left[\frac{D(m_1 - m_0)}{y^2}\right]. \quad (7)$$

Если $m_1 > m_0$, то в силу монотонности экспоненциальной функции

$$D_i > D_j \quad \forall j \neq i \Rightarrow l_i > l_j \quad \forall j \neq i \Rightarrow H_i. \quad (8)$$

Если $m_1 < m_0$, то решающее правило имеет противоположный смысл

$$D_i < D_j \quad \forall j \neq i \Rightarrow l_i > l_j \quad \forall j \neq i \Rightarrow H_i. \quad (9)$$

Экспериментальное исследование значений D на трассе зондирования также показывает, что оба распределения $f_1(D)$ и $f_0(D)$ можно аппроксимировать нормальным законом, однако они отличаются не только математическими ожиданиями, но и дисперсиями. Без ограничения общности можно принять $m_0 = 0$ и $\sigma_0 = 1$. Это всегда можно получить выбором масштаба и начала координат

$$f_1(D) = \frac{1}{y\sqrt{2p}} \exp\left[-\frac{(D-m)^2}{2y^2}\right]; \quad (10)$$

$$f_0(D) = \frac{1}{\sqrt{2p}} \exp\left(-\frac{D^2}{2}\right). \quad (11)$$

В этом случае с точностью до независимых от D множителей отношение правдоподобия принимает вид

$$\lambda(D) = \exp\left[\frac{y^2 - 1}{2y^2} \left(D + \frac{m}{y^2 - 1}\right)^2\right], \quad (12)$$

откуда следует, что при $\sigma > 1$ отношение правдоподобия $\lambda(D)$ является монотонно возрастающей, а при $\sigma < 1$ – монотонно убывающей функцией величины

$$\left(D + \frac{m}{y^2 - 1}\right)^2.$$

При $\sigma > 1$ решающее правило имеет вид

$$\left(D_i + \frac{m}{y^2 - 1}\right)^2 > \left(D_j + \frac{m}{y^2 - 1}\right)^2 \quad \forall j = i \Rightarrow H_i. \quad (13)$$

При $\sigma < 1$ неравенство в правиле (13) следует изменить на противоположное. Заметим, что величина

$$\left(-\frac{m}{y^2 - 1}\right)$$

является центром симметрии для отношения правдоподобия $\lambda(D)$, при котором $\lambda(D)$ достигает своего экстремального значения (минимального при $\sigma > 1$ и максимального при $\sigma < 1$).

Если отношение правдоподобия $\lambda(D)$ является монотонной функцией фрактальных размерностей D , для решения задачи селекции достаточно самых общих сведений о соотношении между параметрами распределений $f_1(D)$ и $f_0(D)$ ($m_1 > m_0$ или $\sigma_1 > \sigma_0$). Точного знания параметров m_1 , m_0 , σ^2 и даже $m_1 - m_0$ не требуется, хотя они, конечно, определяют эффективность принимаемых решений.

Выводы

1. Применение разработанного решающего правила позволяет проводить селекцию антропоген-

ных объектов на фоне подстилающей поверхности с использованием фрактальной размерности.

2. Селекция антропогенных объектов на трассе зондирования с использованием фрактальных размерностей предполагает: вычисление фрактальных размерностей различных подстилающих поверхностей и антропогенных объектов; построение зависимости изменения фрактальных размерностей по дальности; ранжирование фрактальных размерностей; принятие решения селекции по наименьшему значению фрактальной размерности.

3. При проведении дальнейших исследований целесообразно на основании предложенного решающего правила разработать метод селекции антропогенных объектов с использованием фрактальной размерности.

Список литературы

1. Гарбук С.В. Космические системы дистанционного зондирования Земли / С.В. Гарбук, В.Е. Гершензон. – М.: Сканэкс, 1997. – 296 с.
2. Селекция и распознавание на основе локационной информации / Под ред. А.Л. Горелика. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.
3. Федер Е. Фракталы: Пер с англ. / Е. Федер. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
4. Фрактальный анализ процессов, структур и сигналов / Под ред. Р.Э. Пащенко. – Х.: “НЭО Экоперспектива”, 2006. – 348 с.
5. Ширман Я.Д. Теоретические основы радиолокации / Я.Д. Ширман. – М.: Сов. радио, 1970. – 560 с.
6. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники Кн.3. / Б.Р. Левин. – М.: Сов. радио, 1976. – 288 с.
7. Горелик А.Л. Некоторые особенности задачи селекции / А.Л. Горелик, С.С. Эпштейн // Кибернетика. – 1988. – № 1. – С. 67-70.

Поступила в редколлегию 28.02.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Д. Карлов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

СИНТЕЗ ВИРІШАЛЬНОГО ПРАВИЛА СЕЛЕКЦІЇ АНТРОПОГЕННИХ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ФРАКТАЛЬНОЇ РОЗМІРНОСТІ

О.С. Бутенко, В.К. Иванов, Р.Е. Пащенко

Розглянута можливість застосування критерію максимальної правдоподібності для синтезу вирішального правила селекції антропогенних об'єктів, якщо у якості відмітної ознаки використовується величина фрактальної розмірності. Приведений опис проведення експериментальних досліджень відбитих сигналів від підстилючої поверхні та антропогенних об'єктів. Представлені результати синтезу вирішального правила селекції антропогенних об'єктів і показано, що рішення про селекцію ухвалюється за найменшим значенням фрактальної розмірності.

Ключові слова: селекція антропогенних об'єктів, вирішальне правило, фрактальна розмірність.

SYNTHESIS DECISION RULE OF SELECTION ANTHROPOGENIC OBJECTS WITH THE USE FRACTAL DIMENSION

O.S. Butenko, V.K. Ivanov, R.E. Paschenko

Possibility application of criterion maximal verisimilitude is considered for the synthesis decision rule of selection anthropogenic objects, if as a distinctive sign the size of fractal dimension is utilized. Description of leadthrough experimental researches the reflected signals is resulted from a laying surface and anthropogenic objects. The results of synthesis decision rule of selection anthropogenic objects are presented and it is retined that about a selection made a decision by the least value of fractal dimension.

Keywords: selection of anthropogenic objects, decision rule, fractal dimension.