

РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ ЛОКАЛЬНЫХ УЧАСТКОВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Широкое использование современной вычислительной техники как в фотограмметрии, так и в топографии, автоматизация карто-составительских работ и на их основе разработка автоматических методов проектирования инженерных сооружений выдвигают ряд задач, связанных с классификацией и распознаванием отдельных участков местности.

Классом будем считать участки рельефа земной поверхности, обладающие рядом общих свойств, а образом — описание любого участка рельефа, как представителя соответствующего класса образов. Простая система автоматического распознавания состоит из двух основных подсистем: датчика и классификатора [2]. Датчик представляет собой подсистему, преобразующую физические характеристики объекта, подлежащего распознаванию, в набор признаков в виде вектора $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)'$, где штрих обозначает транспонирование. Указанные признаки должны в той или иной мере характеризовать данный объект. Классификатор представляет собой устройство или программу, относящие каждый поступающий на их вход набор признаков к одному из классов.

Выделим вначале в качестве эталонов четыре основных формы рельефа: хребет, ложину, холм и котловину. Каждый из этих эталонов имеет свои характерные признаки, хорошо просматриваемые визуально как на местности, так и на топографической карте с рельефом, представленным горизонталями. Однако для машинной классификации необходимы признаки в виде числовых характеристик.

В [1] приведена методика представления форм рельефа в ЭВМ с помощью кодов. Такое представление несколько проблематично, так как многообразие форм, не всегда четко разграниченных, дает основание заключить, что решение данной задачи распознавания можно выполнить только вероятностно-статистическими методами с помощью решающих функций. Тем не менее, использовать в качестве признаков уклоны земной поверхности, рекомендованные в [1], целесообразно.

Пусть рельеф представлен отметками в перекрестиях прямоугольной сетки. Для его анализа необходимо небольшим окном просмотреть всю площадь. Однако каждая из указанных четырех форм рельефа имеет ось или точку симметрии. Оси симметрии проходят вдоль структурных линий, которые по цифровой модели можно

выделить с помощью методики, приведенной в [4]. Точкой симметрии является пересечение двух структурных линий. От центральной точки или точки, расположенной на структурной линии, в каждой из указанных четырех форм рельефа под тем или иным уклоном простираются поверхности. Следовательно, сканирование возможно выполнить не по всей площади, а только по структурным линиям. В качестве признаков, характеризующих данный образ, берут уклоны между различными соседними точками, например,

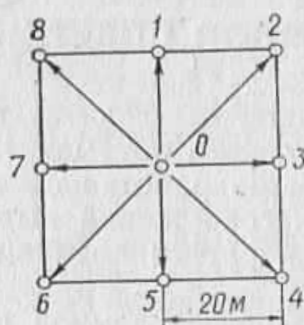


Рис. 1. Расположение признаков на эталоне и на образе.

уклоны между центральной точкой и точкой, расположенной по радиусу-вектору на определенном расстоянии от нее. Указанные уклоны на заданной длине и заданной ориентировке радиуса-вектора вполне надежно характеризуют классифицируемые образы.

Определенная сложность заключается в выборе длины радиуса-вектора при анализе цифровой модели. Его длина зависит от степени пересеченности местности. Поэтому размеры классифицируемых локальных участков можно выбирать на основе корреляционно-спектрального анализа [3]. Длина радиуса-вектора должна быть не больше половины наименьшего классифицируемого образа.

Будем рассматривать образы, включающие восемь признаков, представляющих уклоны по радиусу-вектору из данной центральной точки по всем направлениям через 45° . Начальное направление выбирается вдоль повышения структурной линии, если оно имеется, а последующие уклоны берутся по ходу часовой стрелки (рис. 1).

С учетом сказанного выше, эталонные образы должны иметь следующие характеристики. Холму присущи только признаки с отрицательными значениями, а впадине — все восемь признаков с положительными значениями. Лощина имеет два признака или две группы признаков незначительной величины. Это уклоны вдоль структурной линии, один из которых может быть несколько больше другого. Две группы признаков у лощины значительной величины и положительного значения. Они располагаются симметрично вдоль структурной линии. Хребет вдоль структурной линии имеет те же характеристики, что и лощина, но отличается величинами отрицательного значения. Если вдоль структурных линий хребта или лощины имеется значительный уклон, их называем наклонным хребтом и наклонной лощиной. В табл. 1 приведены признаки для шести охарактеризованных выше эталонных форм рельефа.

При сравнении классифицируемого участка местности с эталонами холма или лощины округлой формы последовательность признаков роли не играет, а при сравнении с эталонами других форм необходимо, чтобы последовательность признаков на классифицируемом образе совпадала с последовательностью признаков на эталонах. Если в рассматриваемом образе начальный признак не указан, то количество решений задачи зависит от размерности вектора признаков. За начальный признак последовательно выбирают

Таблица 1

Значения признаков для эталонных форм рельефа

Номер призна-ков, %	Хребет, наклон	Лощина, наклон	Холм	Котловина	Хребет	Лощина
1	+1	+1	-3	+3	0	0
2	-2	+2	-3	+3	-3	+3
3	-3	+3	-3	+3	-3	+3
4	-3	+2	-3	+3	-3	+3
5	-2	-1	-3	+3	0	0
6	-3	+2	-3	+3	-3	+3
7	-3	+3	-3	+3	-3	+3
8	-2	+2	-3	+3	-3	+3

Таблица 2

Значения признаков для классифицируемых участков рельефа

Номер признаков, %	Участок			
	А	Б	В	Г
1	+3,6	+2,0	+6,0	-7,5
2	+4,5	+1,8	+5,4	-8,6
3	+5,6	-1,0	+4,5	-10,5
4	+4,0	-3,2	+3,2	-2,5
5	+0,7	-3,0	-2,5	-3,5
6	+2,5	-4,3	+3,2	-5,0
7	+3,2	-3,0	+7,5	-5,0
8	+3,0	+0,4	+7,1	-2,1

поочередно все элементы вектора x , не нарушая их последовательности.

Так как датчик описан, перейдем к рассмотрению классификатора. В настоящее время не существует общей теории, позволяющей определить методы классификации, которые следует применить к тем или иным образам. Поэтому примем наиболее простой классификатор, основанный на использовании алгоритма минимального евклидова расстояния.

В нашей задаче имеется M классов, представленных эталонными образами $z_1, z_2, \dots, z_M$, $M=6$. Евклидово расстояние между произвольным вектором образа x и эталоном z_i определяем из следующего выражения [2]:

$$D_i = \|x - z_i\| = \sqrt{(x - z_i)'(x - z_i)}, \quad (1)$$

где x — вектор признаков классифицируемого образа; z_i — вектор признаков эталона.

Как известно, классификатор, построенный по минимуму расстояния D_i , вычисляет расстояние, отделяющее образ x от каждого эталона. Следовательно, образ зачисляется в тот класс, который ближе к нему.

Решающую функцию для данного классификатора находим из подкоренного выражения в (1):

$$D_i^2 = x'x - 2x'z_i + z_i'z_i = x'x - 2(x'z_i - \frac{1}{2}z_i'z_i). \quad (2)$$

В качестве решающей функции принимаем выражение из (2):

$$d_i(x) = x' z_i - \frac{1}{2} z_i' z_i, \quad i = 1, 2, \dots, M. \quad (3)$$

Образ x относится к классу того эталона, для которого функция (3) достигает максимального значения.

Экспериментальные исследования выполняли на том же участке рельефа, который использовался в [4]. Он показан на рис. 2.

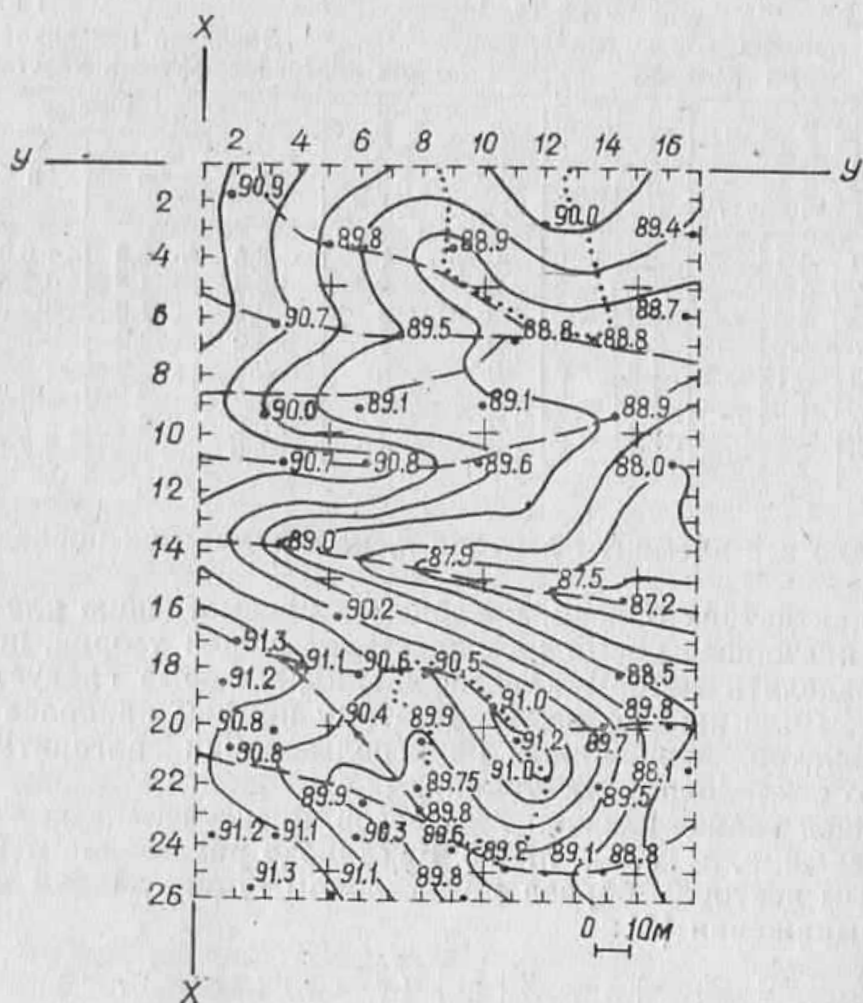


Рис. 2. Топографический план местности с распознаваемыми участками.

Для выполнения эксперимента по классификации выбраны четыре локальных участка местности А(4,9) Б(6,3), В(14,3), Г(20,11). В скобках указаны координаты центральных точек на рис. 2. Векторы признаков для данных участков приведены в табл. 2.

Следует отметить, что участок местности, показанный на рис. 2, не является сильно пересеченным и характерные формы рельефа выражены слабо, уклоны незначительны. В экспериментальных исследованиях использовалось окно размером 40×40 м, т. е., от

центральной точки вычисляли уклоны на точки, расположенные на расстояниях 20 и 28 м (см. рис. 1). Начальные признаки классифицируемого участка и эталонов совпадали. Значения решающих функций для четырех классифицируемых участков местности и принятых шести эталонов приведены ниже:

Участок	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6
А	-83,2	+35,7	-117,3	+45,3	-95,4	+41,4
Б	+13,6	-21,6	-5,1	-66,9	+0,9	-54,9
В	-103,7	+59,3	-154,2	+46,2	-119,7	+65,7
Г	+65,4	-109,9	-102,1	-174,1	+84,1	-138,9

Анализ приведенных данных показывает, что для участка А решающая функция достигает максимального значения на четвертом эталоне, для участка Б — на первом, для участка В — на шестом и для участка Г — на третьем эталоне. Сравнение этих эталонов с характерными формами рельефа на рис. 2 показывает правильную классификацию всех четырех участков.

Кроме того, на каждом участке значения решающих функций, следующие непосредственно за максимальными, также характеризуют визуальную схожесть классифицируемых образов, а их минимальное значение (максимальное отрицательное) характеризует протиположность с соответствующими эталонами. Например, для холма противоположной будет впадина и т. д.

Таким образом, выполненные экспериментальные исследования по классификации подтвердили как правильность системы датчика, т. е. выбора признаков, так и системы классификатора, т. е. решающей функции и методики вычислений.

1. Грейсх В. Л. Возможность исследования форм рельефа на электронных цифровых вычислительных машинах (ЭЦВМ) // Изв. АН СССР, Сер. геогр. 1966: № 4. С. 18—23. 2. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен. М., 1976. 3. Рудый Р. М. К анализу рельефа местности // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. 1984. Вып. 40. С. 93—98. 4. Рудый Р. М. Выделение структурных линий рельефа аналитическим методом // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. 1984. Вып. 39. С. 135—140.