

- ◆ увеличением финансирования конструкторской, машиностроительной сфер и сферы мирной авиации, введением более строгих норм по эксплуатации всех видов общественных транспортных средств и оборудования на предприятиях, введение ужесточенных штрафов за нарушения ПДД также призваны привлечь внимание водителей к большей осторожности на дорогах;
- ◆ увеличением показателей рождаемости, как средства борьбы с уже ставшей реальностью проблемой старения нации;
- ◆ разработка программ по защите окружающей среды.

Таким образом, остается надеяться, что наблюдаемое улучшение ситуации является началом долговременной положительной тенденции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. *Бородицкий М.П.* Лекции по корреляционному, регрессионному анализу и анализу временных рядов. – Изд-во: ТТИ ЮФУ, Таганрог, 2003.
2. *Никитин А.Я., Сосунова И.А.* Анализ и прогноз временных рядов в экологических наблюдениях и экспериментах. Учебно-методическое пособие. – Иркутск: Иркутский государственный педагогический институт, 2003.
3. Носко В.П. Эконометрика. Введение в регрессионный анализ временных рядов. – М., 2002.

Юрина Татьяна Сергеевна

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: tatyurina@gmail.com.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 8(8634)371-606.

Кафедра высшей математики; аспирантка.

Yurina Tatyana Sergeevna

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: lena.alekseenko@gmail.com.

E-mail: tatyurina@gmail.com.

Phone: 8(8634)371-606.

The Department of Higher Mathematics; post-graduate student.

УДК 004.932.1

Е.И. Патана

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРА МОДЕЛИ МАРКОВСКОГО СЛУЧАЙНОГО ПОЛЯ

В статье разрабатывается и исследуется метод определения одного из наиболее важных параметров Марковского случайного поля, необходимого для корректного моделирования текстурных изображений. В ходе исследований осуществляется корреляционный анализ значений пикселей окрестностей с целью исследования их взаимосвязи и принятия решения о размере модели.

Марковские случайные поля; размер модели; сегментация изображений.

E.I. Patana

SIZE DEFINITION METHOD F OF THE MARKOVSKY CASUAL FIELD MODEL

The method calculation of significant parameter of Markov random fields for correct modelling of textured images is researched and investigated in this work. To determine the model's size the correlation analysis of neighbor pixels intensity is used in this investigation.

Markov random field; model size; image segmentation.

Введение

Важной информацией для моделирования изображений с помощью Марковских случайных полей (МСП) является порядок используемой окрестности (размер модели), т.е. количество входящих в неё пикселей. В настоящее время МСП широко применяются в текстурном анализе изображений, в частности, в задачах текстурной сегментации с целью интерпретации и понимания сцены. Среди актуальных приложений сегментации можно выделить несколько наиболее перспективных. Изучение ландшафта местности с целью геологической разведки, выделение береговых линий, определение границ типа море-лед, а также мониторинг движения морских льдов для обеспечения безопасности движения морских кораблей, детекция нефтяных пятен на водной поверхности с целью оптимизации проведения мероприятий, связанных с экологической безопасностью и пр. [1].

Целью работы является корректная оценка размера окрестности пикселей, необходимых для построения модели МСП, точно характеризующей изображение. Определение указанного параметра необходимо для разработки автоматизированной системы текстурной сегментации.

Сведения о Марковских случайных полях

В методах анализа, основанных на МСП, изображение рассматривается как реализация случайного процесса. Введем определения, которые используются, в частности, при сегментации текстур. Пусть S некоторое конечное множество позиций или множество узлов; для каждого узла $s \in S$ через X_s обозначим некоторое конечное пространство состояний X_s . Декартово произведение $X = \prod_{s \in S} X_s$ назовем пространством конечных конфигураций $x = (x_s)_{s \in S}$. Рассмотрим вероятностную меру (распределение) P на X , т.е. вектор $P = (P(x))_{x \in X}$ такой, что $P(x) \geq 0$ и $\sum_{x \in X} P(x) = 1$. Строго положительную вероятностную меру P на X ($P(x) > 0$ для всех $x \in X$) будем называть стохастическим или случайным полем. Условные вероятности вида: $P(X_A = x_A | X_{S \setminus A} = x_{S \setminus A})$, $A \subset S$, $x_A \in X_A$, $x_{S \setminus A} \in X_{S \setminus A}$, являются локальными характеристиками [3].

Семейство $N = \{N_s | \forall s \in S\}$ подмножеств S называется системой окрестностей, $s \in N_t$ тогда и только тогда, когда $t \in N_s$, $s, t \in S$. Различают окрестности различных порядков. В системе окрестностей первого порядка каждая внутренняя позиция имеет четыре смежные с ней позиции, второго – восемь. Порядок окрестности однозначно определяет порядок модели МСП. Подмножество

C из S будем называть *кликкой*, если любые два различных элемента из C являются соседями (принадлежат одной окрестности) [3].

Перейдем к определению Марковского случайного поля. X называется Марковским случайным полем на сетке S по отношению к системе окрестностей N тогда и только тогда, когда выполняются следующие условия: $P(x) > 0, \forall x$ (положительность) и $P(x_s | x_{S-s}) = P(x_s | x_{N_s})$ (марковость). Марковость описывает локальные характеристики изображения X , т.е. позиция взаимосвязана только с соседними позициями.

Вышеуказанное определение Марковского поля дано в терминах локальных характеристик; глобальной характеристикой случайного поля является распределение Гиббса. Вероятностные меры, представимые в виде

$$P(x) = \frac{\exp(-U(x))}{\sum_{x \in X} \exp(-U(x))} = Z^{-1} \exp(-U(x)), \quad (1)$$

всегда строго положительны и, следовательно (согласно определению), являются случайными полями. Поле P в этом случае называют *гиббсовским случайным полем (ГСП)*, порожденным *энергетической функцией* $U = \sum_{c \in C} V_c$ (сумму потенци-

альных функций V_c рассчитываем по всевозможным кликам). Знаменатель в представлении (1) называют *статус-суммой*. Иногда для описания энергии распределения Гиббса используется сумма нескольких слагаемых, каждое относится к кликам определенного размера, таким образом:

$$U(x) = \sum_{s \in C_1} V_1(x_s) + \sum_{\{s, s'\} \in C_2} V_2(x_s, x_{s'}) + \sum_{\{s, s', s''\} \in C_3} V_3(x_s, x_{s'}, x_{s''}) + \dots$$

Чем меньше значение энергетической функции $U(x)$, тем больше вероятность $P(x)$ появления конфигурации x . Подходы, основанные на локальных и глобальных характеристиках, эквивалентны в соответствии с теоремой Хаммерсли-Клиффорда [3].

Метод определения размера модели

Предполагается, что пиксель, образующий окрестность и смежные с ним пиксели связаны между собой линейно. Ставится задача определить, между какими пикселями из окрестности (на рис. 1 светло-серым цветом показаны пиксели окрестности восьмого порядка) и центральным пикселем (на рис. 1 показан темно-серым цветом) существует линейная зависимость.

Для решения данной проблемы воспользуемся методами корреляционного анализа. Все исходное изображение I разобьем на непересекающиеся участки $\{I_1, I_2, \dots, I_Q\}$, будем считать, что внутри этих областей текстура однородна. Сеточная система S каждого участка изображения разбивается на два подмножества позиций: внутреннего множества S_I и граничного множества S_B , как в предыдущем пункте.

Пусть $F = \{f_1, f_2, \dots, f_k\}$ набор центральных пикселей f_1 и пикселей f_2, \dots, f_k из окрестности в некоторой области I_m , где $k - 1$ – количество пикселей в окрестности заведомо высокого порядка (в данном исследовании рассматривается восьмой порядок $k = 44$). В результате построения окрестностей для каждой точки I_m сформирована выборка наборов значений для множества F : $\vec{X} = (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ik})$, $t = 1, \dots, T$, T – количество пикселей внутреннего множества для I_m , $k = 44$. В соответствии с центральной предельной теоремой случайный вектор \vec{X} распределен по многомерному нормальному закону, т.е.

$$p(\vec{X}) = \frac{1}{(2\pi)^{k/2} |\Sigma|^{1/2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (\vec{X} - \bar{m})^T \Sigma^{-1} (\vec{X} - \bar{m}) \right\}, \quad \vec{X} \in R^k,$$

где $\bar{m} \in R^k$ – вектор математических ожиданий, $E\vec{X} = \bar{m}$, $\Sigma = (\sigma_{ij})$ – ковариационная матрица размера $k \times k$, $\Sigma > 0$, $\Sigma^T = \Sigma$, $V(\vec{X}) = \Sigma$.

		$r_{1,38}$	$r_{1,30}$	$r_{1,26}$	$r_{1,31}$	$r_{1,39}$				
	$r_{1,45}$	$r_{1,22}$	$r_{1,14}$	$r_{1,10}$	$r_{1,15}$	$r_{1,23}$	$r_{1,40}$			
	$r_{1,37}$	$r_{1,21}$	$r_{1,6}$	$r_{1,2}$	$r_{1,7}$	$r_{1,16}$	$r_{1,32}$			
	$r_{1,29}$	$r_{1,13}$	$r_{1,5}$		$r_{1,3}$	$r_{1,11}$	$r_{1,27}$			
	$r_{1,36}$	$r_{1,20}$	$r_{1,9}$	$r_{1,4}$	$r_{1,8}$	$r_{1,17}$	$r_{1,33}$			
	$r_{1,44}$	$r_{1,25}$	$r_{1,19}$	$r_{1,12}$	$r_{1,18}$	$r_{1,24}$	$r_{1,41}$			
		$r_{1,43}$	$r_{1,35}$	$r_{1,28}$	$r_{1,34}$	$r_{1,42}$				

Рис. 1. Схематичное изображение примера окрестности и центрального пикселя в некотором участке I_m исходного изображения I

Так как нас интересует взаимосвязь центральных пикселей X_{i1} , $i = 1, \dots, T$ и пикселей из их окрестностей, то для исследований нет необходимости рассчитывать корреляционную матрицу полностью. Для каждого подызображения рассчитаем оценки коэффициентов корреляции между интересующими величинами и обозначим её r_{1j} , $j = 2, \dots, k$. На рис. 2 обозначены все оценки между центральным пикселем и пикселями из окрестности. В результате последовательных вычислений в участках I_1, I_2, \dots, I_Q получается набор значений для каждой оценки коэффициента корреляции, т.е. $(r_{1j})_q$, $j = 2, \dots, k$, $q = 1, \dots, Q$, Q – количество

поды изображений. Пример расчета оценки коэффициентов r_{1j} в каждом участке изображения показан на рис. 2.

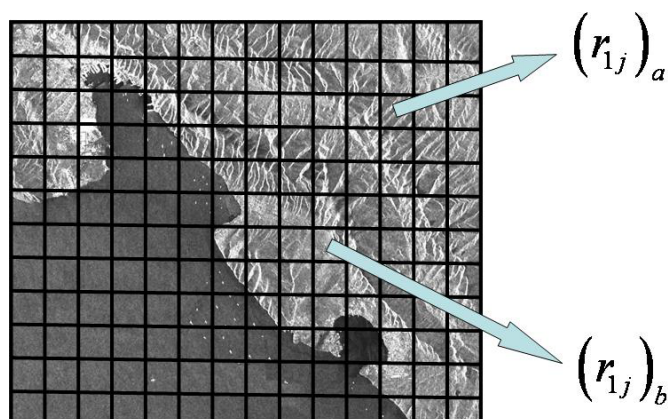


Рис. 2. Пример расчета коэффициентов корреляции в каждом участке изображения

Затем рассчитаем среднее значение для каждого коэффициента корреляции $r_{x_i, x_{ji}} = \sum_{q=1}^Q r_{x_{iq}, x_{jq}} / Q$. Получим средние коэффициенты корреляции для всего изображения в целом, по которым будем судить о наличии линейной зависимости между пикселями.

Проверим значимость параметра связи ρ . Статистика r , вычисляемая по выборке из многомерно нормально распределённой совокупности связана с распределением Стьюдента с $n - k$ степенями свободы формулой:

$$T(n - k) = \frac{r\sqrt{n - k}}{\sqrt{1 - r^2}} \quad (4), \quad n = Q = 196, \quad k = 44$$

Выдвигаем следующие гипотезы:

$H_0: \rho = 0, H_a: \rho \neq 0$. Критическая область $G = \{|t| \geq t_{1-\alpha/2}(n - k)\}$. Здесь α – уровень значимости. Если $t_{набл}$, вычисленное по формуле (4) принадлежит области G , то гипотезу H_0 отклоняем в пользу H_a . Проверим гипотезы для каждого коэффициента корреляции. Рассмотрим уровень значимости $\alpha = 0,05$, следовательно $|t| \geq 0,16$. Для изображения, представленного на рис. 3 были получены результаты, представленные в табл. 1. Первый столбец соответствует коэффициенту корреляции, второй – определяет значимость (значимый коэффициент корреляции помечен 1, незначимый 0) коэффициента, третий – порядок окрестности. Коэффициенты корреляции в табл. 1 приведены в порядке, обозначенном на рис. 2.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции

0.55	1	1	0.31	1	4	0.12	0	7
0.55	1	1	0.21	1	4	0.12	0	7
0.53	1	1	0.20	1	4	0.15	0	7
0.54	1	1	0.29	1	4	0.13	0	7
0.35	1	2	0.28	1	4	0.13	0	7
0.35	1	2	0.14	0	5	0.15	0	7
0.46	1	2	0.12	0	5	0.09	0	8
0.45	1	2	0.28	1	5	0.07	0	8
0.25	1	3	0.27	1	5	0.12	0	8
0.24	1	3	0.15	0	6	0.13	0	8
0.23	1	3	0.14	0	6	0.09	0	8
0.23	1	3	0.15	0	6	0.08	0	8
0.18	1	4	0.15	0	6	0.12	0	8
0.18	1	4	0.11	0	7	0.14	0	8
0.30	1	4	0.09	0	7			

Заключение

Исследования показали, что с ростом порядка коэффициенты уменьшаются. На основе полученных значений коэффициентов корреляции можно сделать следующий вывод. Линейная зависимость наблюдается для пикселей из окрестности первого порядка, для окрестностей более высокого порядка это, вообще говоря, неверно. Коэффициенты корреляции для 4–5 порядка оказываются значимыми, в связи с этим можно предположить, что взаимосвязь между этими пикселями нелинейная, поэтому перспективным направлением является исследование различных зависимостей пикселей. Эксперименты показали, что для текстурной сегментации радиолокационных изображений целесообразно использовать окрестности пикселей 4–5 порядка. Таким образом, порядок окрестности выбираем, учитывая не только значение коэффициента корреляции, но и его значимость.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Tuceryan M., Jain A.K.* Texture Analysis. The Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision, World Scientific Publishing Co, 1998. – P. 207-248.
2. *Bing Yue*, SAR Sea Ice Recognition Using Texture Methods PhD, Waterloo, Ontario, Canada, 2002. – 149 p.
3. *Винклер Г.* Анализ изображений, случайные поля и динамические методы Монте-Карло. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 545 с.

Патана Елена Игоревна

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: helena.patana@gmail.com.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 8(8634)371-606.

Кафедра высшей математики; аспирантка.

Patana Helena Igorevna

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: helena.patana@gmail.com.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: 8(8634)371-606.

The Department of Higher Mathematics; post-graduate student.