

УМЕНЬШЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ФРАГМЕНТОВ НА БОЛЬШИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Ташлинский А.Г., Кавеев И.Н., Хорева А.М.

Рассмотрено использование псевдоградиентного подхода при решении задач поиска по эталону, идентификации и определения параметров местоположения фрагментов изображений. При этом эталонный и искомый фрагменты могут иметь взаимные геометрические и яркостные деформации. Для сокращения вычислительных затрат используется структурная оптимизация алгоритмов поиска. Найдены выражения для расчета вероятности ошибочного выбора фрагмента и распределений вероятностей числа итераций предложенных алгоритмов.

Ключевые слова: обработка изображения; псевдоградиентная процедура; целевая функция; оптимизация вычислительных затрат; поиск фрагмента изображения; оценивание геометрических деформаций изображений.

Введение

В последние годы продолжается расширение области применения систем извлечения информации, использующих пространственные апертуры датчиков сигналов. Такие системы используют для дистанционного исследования Земли, в медицине, навигации, радиолокации, при обеспечении государственной безопасности и в других областях. Исходной информацией в них являются динамические изображения, при обработке которых одной из проблем является поиск по эталону, идентификация и определения параметров местоположения фрагментов изображений. При этом эталонный и искомый фрагменты могут иметь существенные взаимные геометрические и яркостные деформации.

Известные методы оценивания местоположения фрагмента основаны на четырех подходах:

- сопоставление изображения и фрагмента [1-2], при котором выделяют некоторое множество ярко выраженных признаков (точки или их группы, контуры, углы, перекрестья и т.п., при этом на исследуемых изображениях требуются наличие и стабильность выбранных признаков) и устанавливают соответствие между признаками;

- пространственно-временная фильтрация [3], при которой для поиска фрагмента параметры фильтрации подстраиваются по пространственным частотам (при этом используется информация, содержащаяся во всем фрагменте, поэтому

метод малочувствителен к локальным пространственным деформациям);

- морфологический анализ [4], использующий понятие формы объекта как инварианта заданного класса преобразований изображений;

- анализ оптического потока [5-6], при котором исследуется векторное поле скоростей движения точек яркостей сцены или их характеристик (например, таких как контрастность, градиент, энтропия и т.д.), причем яркость изображения, как правило, считается неизменной во времени.

К методам, использующим оптический поток, можно отнести и методы, основанные на оценке градиента целевой функции (ЦФ), среди которых для изображений больших размеров наиболее перспективной представляется идентификация и определение местоположения фрагмента на базе псевдоградиентных процедур [7]:

$$\hat{\alpha}_i = \hat{\alpha}_{i-1} - \Lambda_i \bar{\beta}_i(Q),$$

где $\bar{\alpha}$ – искомый вектор параметров местоположения фрагмента; Λ_i – матрица усиления; $\bar{\beta}_i$ – псевдоградиент ЦФ Q , характеризующий качество оценивания. При ограниченности вычислительных ресурсов и незначительных яркостных искажениях между опорным и искомым фрагментами в качестве ЦФ целесообразно выбирать средний квадрат разности яркостей искомого и опорного фрагментов, а при яркостных искажениях, близких к линейным, – коэффициент корреляции [8].

При нахождении псевдоградиента $\bar{\beta}_i(Q)$ для повышения быстродействия процедур используют локальные выборки $Z_i = \{z_{ji}^f, z_{\bar{j}i}\}$ небольшого объема, где $z_{ji}^{(f)}$ – фрагмент Z^f , $\tilde{z}_{\bar{j}i} = \tilde{z}(\bar{j}, \hat{\alpha}_{i-1})$ – отсчеты непрерывного изображения \tilde{Z} , полученного из исследуемого изображения Z .

Постановка задачи

Псевдоградиентные процедуры рекуррентны, сочетают хорошие точностные характеристики с высоким быстродействием, применимы к обработке изображений с плавно меняющейся неоднородностью. Формируемые ими оценки параметров устойчивы к импульсным помехам и сходятся

к оптимальным значениям при довольно слабых условиях [9]. Однако в практических задачах из-за ограниченности вычислительных ресурсов требуемая точность оценивания параметров $\bar{\alpha}$ достигается не на всем исследуемом изображении, а лишь в некоторой подобласти, ограниченной рабочим диапазоном процедуры [10].

Это приводит к необходимости разбиения изображения на N подобластей, соответствующих рабочему диапазону. Процедуру, работающую в подобласти, которой принадлежит искомый фрагмент, будем называть V-процедурой (от veritas – истинная). Процедуры, работающие в других подобластях, будем называть P-процедурами (от pseudo – ложная). В результате работы всех процедур формируется N векторов $\hat{\alpha}^{(i)}, i = \overline{1, N}$, оценок параметров местоположения фрагмента и возникает задача определения среди них с требуемой доверительной вероятностью подобласти, в которой достигается экстремум ЦФ.

Принцип управления множеством процедур

При решении задач поиска и идентификации фрагментов число подобластей может достигать нескольких тысяч [11]. Столько же будет и процедур. Если все процедуры выполняют одинаковое число итераций, обеспечивающее необходимую точность оценивания, то это потребует больших вычислительных затрат. Для сокращения объема вычислений может быть использован следующий принцип структурной оптимизации (управления множеством процедур) [12].

На каждом шаге алгоритма приоритет выполнения очередной итерации предоставляется процедуре, имеющей наименьшее значение некоторой функции штрафа ψ . При этом под «шагом алгоритма» понимается совокупность операций, включающая: выполнение процедурой с минимальным штрафом очередной итерации, нахождение нового значения штрафа и определение процедуры с наименьшим штрафом.

Сложность состоит в том, что при этом требуется сравнение штрафов процедур, выполнивших разное число итераций. Исследование требований к ψ , обеспечивающих такую возможность, показало, что при использовании ЦФ, подлежащей минимизации, такому условию удовлетворяет функция

$$\psi_i^{(i)} = \sum_{j=1}^t (q_j^{(i)} Q_{\min}),$$

где $Q_{\min} < \inf \{q_j^{(i)}\}$ – величина, меньшая нижней границы множества $\{q_j^{(i)}, j = \overline{1, t}\}$ оценок ЦФ; $i = \overline{1, N}$. Если же ЦФ подлежит максимизации, то

$$\psi_i^{(i)} = \sum_{j=1}^t (Q_{\max} - q_j^{(i)}),$$

где $Q_{\max} \geq \sup \{q_j^{(i)}\}$.

Плотность распределения вероятности функции штрафа

Функция штрафа ψ зависит от способа формирования локальной выборки Z_t . Причем в процессе сходимости оценок параметров местоположения фрагмента к оптимальным значениям вероятностные свойства ψ изменяются. Поэтому для анализа и оптимизации ψ желательно знать ее плотность распределения вероятностей (ПРВ) $w_t(\psi)$ на каждой итерации. При этом в качестве меры соответствия отсчетов $\{\tilde{z}_{ji}\} \in \tilde{Z}$ и $\{\tilde{z}_{ji}\} \in Z^f$, входящих в локальную выборку, целесообразно использовать коэффициент корреляции ρ , который является одномерной характеристикой, не зависящей от способа интерполяции изображения Z и числа оцениваемых параметров. Тогда ПРВ приращения $\Delta\psi$, штрафа на каждой t -ой итерации:

$$w_t(\Delta\psi) = \int_{-1}^1 w_t(\Delta\psi/\rho) w(\rho) d\rho,$$

где $w_t(\Delta\psi/\rho)$ – условная ПРВ приращения; $w(\rho)$ – ПРВ коэффициента корреляции. Заметим, что для P-процедур ПРВ $w_t(\Delta\psi/\rho = 0)$ не зависит от номера итерации. Тогда ПРВ на t -ой итерации

$$w_t(\psi) = \int_0^{\infty} w_{t-1}(\psi - \Delta\psi_t) w(\Delta\psi) d\Delta\psi.$$

Для V-процедур по мере сходимости вектора оценок $\hat{\alpha}$ к истинным значениям ρ увеличивается, поэтому $w_t(\Delta\psi/\rho)$ зависит от номера итерации. Соответственно,

$$w_t(\psi) = \int_0^{\infty} \int_{-1}^1 w_{t-1}(\psi - \Delta\psi) w_t(\Delta\psi/\rho) w(\rho) d\Delta\psi d\rho.$$

С использованием приведенных соотношений несложно получить выражения для расчета ПРВ ψ для таких часто используемых ЦФ,

как средний квадрат разности и коэффициент корреляции [10].

Вероятность ошибочного выбора фрагмента

Если априорно неизвестно наличие искомого фрагмента на исследуемом изображении, то возникает задача проверки гипотезы, что среди N исследуемых подобластей нет подобласти, содержащей фрагмент. Для ее решения предлагается использовать статистический критерий: если за $M = M_{kr}$ шагов алгоритма ни одна из N процедур не достигла T_m -ой итерации, то среди исследуемых подобластей подобласть фрагмента отсутствует. Выбор величин T_m и M_{kr} позволяет обеспечить нужные вероятности ошибок первого ($P^{(1)}$) и второго ($P^{(2)}$) рода. Вероятности $P^{(1)}$ и $P^{(2)}$ можно найти по дискретным распределениям P_{Vt} и P_{Pt} , числа итераций для V- и P-процедур, где $P_{V(P)t}$ – вероятность того, что за M_{kr} шагов алгоритма V(P)-процедура выполнила t итераций при разбиении исследуемого изображения на N подобластей; $t = \overline{1, T_m}$. Несложно показать, что

$$P_{P(V)t} = \int_0^{\infty} w_{TM}(\psi)(1 - F_{P(V)t}(\psi))d\psi - \sum_{i=1}^{t-1} P_{P(V)i},$$

где $F_{P(V)t}(\psi) = \int_0^{\psi} w_{P(V)t}(x)dx$ – функция распределения ψ на t -ой итерации P(V)-процедуры;

$$w_{TM}(\psi) = w_{VTM}(\psi)(1 - F_{PTM}(\psi))^{N-1} + w_{PTM}^{(N-1)}(\psi)(1 - F_{VTM}(\psi)) -$$

– ПРВ штрафа на T_m -ой итерации, $w_{PTM}^{(N-1)}(\psi)$ – ПРВ минимального из $(N-1)$ -го значений штрафов P-процедур на T_m и M_{kr} итерации. Тогда для заданных T_m и M_{kr}

$$P^{(1)} = 1 - \left(\sum_{i=1}^{T_m-1} P_{Pi} \right)^N, \quad P^{(2)} = \sum_{i=1}^{T_m-1} P_{Vi} \left(\sum_{i=1}^{T_m-1} P_{Pi} \right)^{N-1}.$$

Другой важной характеристикой является вероятность P_{er} ошибочного выбора фрагмента. При наличии на изображении искомого фрагмента и предположении о независимости штрафов P-процедур для верхней границы P_{er} получаем

$$P_{er \setminus V} = \int_0^{\infty} w_{VT}(\psi)(1 - (1 - F_{PT}(\psi))^{N-1})d\psi.$$

Для примера был проведен расчет вероятности пропуска фрагмента для случая, когда пара-

метрами его местоположения являлись координаты центра фрагмента и угол поворота между эталонным и найденным фрагментами. Для 400 итерации оценивания при начальных рассогласованиях положения центра фрагмента в 5 шагов сетки отсчетов и угла поворота в 10 град. при $N=2$ вероятность $P_{er \setminus V}$ составила менее $3 \cdot 10^{-3}$, при $N=50 - P_{er \setminus V} \leq 2 \cdot 10^{-2}$, при $N=1000 - P_{er \setminus V} \leq 10^{-1}$.

Вычислительные затраты

Для анализа вычислительных затрат структурно оптимизированных процедур поиска найдены дискретные распределения вероятностей $\{P_t\}, t = \overline{1, T}$, числа итераций, выполненных процедурами для ситуаций наличия

$$P_t = \int_0^{\infty} w_T(\psi)(1 - F_{Pt})d\psi - \sum_{i=1}^{t-1} P_{Pi}$$

и отсутствия

$$P_t = \int_0^{\infty} w_{PT}^{(N)}(\psi)(1 - F_{Pt})d\psi - \sum_{i=1}^{t-1} P_{Pi}$$

на изображении искомого фрагмента, где $w_t(\psi)$ – ПРВ штрафа на T -ой итерации.

Использование структурной оптимизации позволяет существенно сократить вычислительные затраты. При этом выигрыш в быстродействии растет с увеличением размеров исследуемого изображения. Так, для изображений с гауссовской корреляционной функцией при 1000 итерациях оценивания выигрыш по сравнению со случаем, когда все процедуры достигают порогового числа итераций, составляет: при $N=50 - 1,6$ раза; $N=200 - 2,5$ раза; при $N=1000 - 5,3$ раза.

Заключение

Разработанные алгоритмы поиска по эталону, идентификации и определения параметров местоположения фрагментов изображений могут найти применение при решении различных задач автоматизированной обработки изображений: обнаружения аномалий на последовательности космических снимков, «склейки» аэрофотоснимков, идентификации дактилоскопических отпечатков и радужной оболочки, отслеживании траектории подвижных объектов, идентификации лиц, номеров автотранспорта, при решении задач государственной безопасности и других. Несомненным достоинством предложенных алгоритмов является возможность вероятностного анализа достоверности получаемых результатов.

Литература

1. Huang T.S., Netravali T.S. 3-D motion estimation // Machine Vision for Three-Dimensional Scenes. New York: Academic, 1990. – P. 194-219.
2. Tomasi C., Kanade T. Shape and Motion from Image Streams Under Orthography // A Factorization Method, Int'l J. Computer Vision. V. 9, N. 2, 1992. – P. 137-154.
3. Jacobson L., Wechsler H. Derivation of optical flow using a spatiotemporal-frequency approach // Comput. Vision, Graphics. Image Processing. V. 38, 1987. – P. 29-65.
4. Soille P. Morphological Image Analysis. Berlin, Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 1993. – 420 p.
5. Rajala S.A., Abdelqader I. M., Bilbro G. L., Synder W. E. Motion estimation optimization // IEEE Proc. ICASSP-92, V. 3, 1992. – P. 226-236.
6. Wang Y. and Lee O. Active mesh - A feature seeking and tracking image sequence representation scheme // IEEE Trans. Image Processing. V. 3, 1994. – P. 610-624.
7. Цыпкин Я.З. Информационная теория идентификации. М.: Наука. Физматлит, 1995. – 520 с.
8. Tashlinskii A.G. Pseudogradient Estimation of Digital Images Interframe Geometrical Deformations // Vision Systems: Segmentation & Pattern Recognition. Vienna, Austria: I-Tech Education and Publishing, 2007. – P. 465-494.
9. Поляк Б.Т., Цыпкин Я.З. Псевдоградиентные алгоритмы адаптации и обучения // Автоматика и телемеханика. №3, 1973. – С. 45-68.
10. Ташлинский А.Г., Тихонов В.О. Методика анализа погрешности псевдоградиентного измерения параметров многомерных процессов // Известия вузов: Радиоэлектроника. Т. 44, № 9, 2001. – С. 75-80.
11. Tashlinskii A. Computational Expenditure Reduction in Pseudo-Gradient Image Parameter Estimation // Computational Science-ICCS 2003. V. 2658, Proceeding, Part II, Berlin: Springer, 2003. – P. 456-462.
12. Tashlinskii A.G., Muratkhonov D.S. Structural Optimization of Pseudogradient Algorithms for Measuring Interframe Image Deformations // Pattern Recognition and Image Analysis. 2003, V.13, N.1, 2003. – P. 177-178.

REDUCTION OF COMPUTATIONAL COSTS FOR IDENTIFICATION OF THE PATCH LOCATION ON LARGE-SIZED IMAGES

Tashlinskii A.G., Kaveev I.N., Khoreva A.M.

The use of the pseudo-gradient method for solving the problems of pattern search, identification and parameter estimation of image patch location is proposed. At that the reference and sought image patches may have relative spatial and brightness deformations. The structural optimization of search algorithms is used for computational costs reduction. The expressions for calculation of the image patch erroneous choice probability and the probability distribution of the offered algorithms iteration number are found.

Keywords: image processing, pseudo-gradient algorithms, objective function, reduction of computational costs, template matching, estimation of geometrical image deformations.

Ташлинский Александр Григорьевич, д.т.н., профессор, заведующий Кафедрой «Радиотехника» (РТ) Ульяновского государственного технического университета (УлГТУ). Тел. 8-951-098-66-00. E-mail: tag@ulstu.ru

Кавеев Ибрагим Нариманович, аспирант Кафедры «Системы автоматизированного проектирования» УлГТУ. Тел. 8-902-356-54-44. E-mail: k.ibragim@gmail.com

Хорева Анна Михайловна, аспирантка Кафедры РТ УлГТУ. Тел. (8422) 461284. E-mail: apata@mail.ru

УДК 681.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНТУРНЫХ ЛИНИЙ ПРИ ПОИСКЕ ПОСТОРОННИХ ОБЪЕКТОВ НА ПОЛУТОНОВОМ ИЗОБРАЖЕНИИ

Диязитдинов Р.Р.

Аварии на железнодорожном переезде являются одной из самых серьезных проблем безопасности. Предлагается алгоритм поиска посторонних объектов на полутоновых изображениях с использованием контурных линий для повы-

шения безопасности на железнодорожных переездах.

Ключевые слова: полутоновые изображения, фон, посторонний объект, контурные линии, изображение-маска.