

**Оптимизация псевдоградиента в задаче  
псевдоградиентного оценивания межкадровых  
геометрических деформаций изображений**

*Минкина Г. Л., Самойлов М. Ю., Дикарина Г. В.,  
Захаров А. А.*

tag@ulstu.ru

Ульяновск, Ульяновский государственный технический университет

Исследуются вопросы оптимизации объема локальной выборки отсчетов изображений, используемой для нахождения псевдоградиента целевой функции, в частности, влияние объема и плана локальной выборки отсчетов изображений на процесс сходимости оценок параметров и признаки локальных экстремумов оценки целевой функции. Предложены методики априорной и апостериорной оптимизации объема локальной выборки по различным критериям качества оценивания.

Оценивание параметров межкадровых геометрических деформаций изображений (МГДИ) является одной из ключевых задач при представлении и обработке последовательностей изображений [1]. При решении указанной задачи хорошо себя зарекомендовали псевдоградиентные процедуры (ППГ) [2]. Формирование с помощью ППГ оценки вектора  $\bar{\alpha}$  параметров МГДИ может быть описано соотношением

$$\hat{\alpha}_{t+1} = \hat{\alpha}_t - \mathbf{\Lambda}_{t+1} \bar{\beta}_{t+1} (Z_{t+1}, \hat{\alpha}_t), \quad (1)$$

где  $\bar{\beta}$  — псевдоградиент целевой функции (ЦФ), характеризующей качество оценивания;  $\mathbf{\Lambda}_t$  — матрица усиления, задающая приращение оценок параметров на итерации;  $Z_{t+1}$  — локальная выборка отсчетов наблюдаемых изображений, используемая для нахождения  $\bar{\beta}$  на  $(t + 1)$ -й итерации.

Недостатками ППГ (1) обработке изображений являются наличие локальных экстремумов оценки ЦФ и сравнительно небольшой рабочий диапазон. Поэтому весьма актуальной является оптимизация процедур по скорости сходимости и вычислительным затратам. При этом заметим, что характер сходимости оценок и вычислительные затраты во многом определяются объемом локальной выборки (ОЛВ)  $\mu_t$ , используемым на итерациях процесса псевдоградиентного оценивания для нахождения псевдоградиента ЦФ. Тем не менее, вопросы оптимизации ОЛВ в литературе практически не исследованы.

В качестве исходной информации для нахождения скорости сходимости вектора оценок  $\hat{\alpha}$  исследуемых параметров  $\bar{\alpha}$  к оптимальному значению  $\bar{\alpha}^*$  представляется целесообразным использование плотности распределения вероятностей (ПРВ) этих оценок на соответствующих итерациях. Целесообразно исследовать различные величины, характеризу-

ющие скорость сходимости оценок: математическое ожидание, вероятность превышения порогового значения, доверительный интервал, и др. При оценивании одного параметра эти характеристики непосредственно применимы к его оценке. Если же оценивается совокупность параметров, то в общем случае, на одной и той же итерации для каждого  $i$ -го параметра может получиться свое значение ОЛВ  $\mu_{it}$ , обеспечивающее выполнение заданного критерия. Это неприемлемо, поскольку на каждой итерации локальная выборка должна формироваться один раз. Соответственно и для критерия необходима единая мера. Для задачи оценивания МГДИ в качестве такой меры предлагается использовать плотность распределения вероятностей (ПРВ)  $w_{t-1}(r)$  расстояний между одноименными точками изображений с опорного и деформированного кадров, вошедшими в локальную выборку  $Z_t$ . Это расстояние  $r$  между истинным положением точки и его оценкой назовем евклидовым расстоянием оценки (ЕРО). Разработана методика нахождения ПРВ ЕРО, основанная на предварительной дискретизации области определения параметров. В качестве величин, характеризующих скорость сходимости ЕРО на конкретной  $t$ -й итерации, исследовалось, например, математическое ожидание изменения оценки при ОЛВ  $\mu = m$

$$E[r]_{\mu=m} = \int_0^{\infty} r \left( w_{t-1}(r)_{\mu=m} - w_t(r)_{\mu=m} \right) dr. \quad (2)$$

Аналогично (2) может быть найдено и матожидание  $E[\Delta r(+k)]$  улучшения вектора оценок параметров при увеличении ОЛВ  $\mu$  на  $k$ :

$$E[\Delta r(+k)] = \int_{-\infty}^{\infty} r \left( w_t(r)_{\mu=m+k} - w_t(r)_{\mu=m} \right) dr.$$

Кроме приведенного параметра, исследовалось использование в качестве меры скорости сходимости ЕРО условия превышения ею с заданной доверительной вероятностью некоторого порогового значения, доверительный интервал при заданной доверительной вероятности и ряд других параметров.

Для нахождения вероятностных свойств ЕРО и влияния на них ОЛВ требуется найти вероятностные характеристики изменения оценок параметров в процессе их сходимости. Это удастся сделать, применив в качестве величины, позволяющей при заданной ЦФ качества оценивания комплексно характеризовать параметры исследуемых изображений и мешающих шумов, коэффициент

$$\mathfrak{R}_i = \rho_i^+(\bar{\varepsilon}) - \rho_i^-(\bar{\varepsilon}), \quad (3)$$

характеризующий улучшение оценки, где  $\rho_i^-(\bar{\varepsilon}_t)$  — вероятность того, что изменение оценки  $i$ -го параметра направлено от оптимального значения, а  $\rho_i^+(\bar{\varepsilon}_t)$  — к оптимальному,  $\bar{\varepsilon} = \hat{\alpha} - \bar{\alpha}^*$  — рассогласование оценки и оптимального значения.

С использованием ЕРО и коэффициента (3) разработана методика оптимизации ОЛВ, по критериям минимума вычислительных затрат, минимума числа итераций оценивания при ограничении на вычислительные затраты и обеспечения заданной скорости сходимости оценок параметров [3]. Методика позволяет найти оптимальный ОЛВ для каждой итерации оценивания при заданном распределении вероятностей начального рассогласования оценок параметров. Для априорной оптимизации ОЛВ по различным критериям разработано алгоритмическое и программное обеспечение. Для этого получены выражения для расчета коэффициента улучшения оценки при характерных ЦФ. Проанализировано соответствие теоретических результатов, полученных при априорной оптимизацией ОЛВ и экспериментальным результатам, полученных на различных классах имитированных и реальных изображений.

Оптимальный по заданному критерию ОЛВ, рассчитанный априорно, обеспечивает выполнение этого критерия лишь в среднем. При конкретной реализации изображения оценка ЦФ кроме глобального экстремума может содержать еще и множество ложных локальных экстремумов. Последние могут быть вызваны, например, коррелированностью отдельных протяженных объектов на изображении и проявляются, если большая часть отсчетов локальной выборки попадает в эти области, т. е. обусловлены ограниченностью ОЛВ. Поэтому увеличение объема или замена локальной выборки  $Z_t$  способствует выводу ППП из локального экстремума. Таким образом, на каждой итерации оценивания целесообразна проверка признаков локального экстремума ЦФ, а при их наличии — увеличение объема или смена локальной выборки. При этом ОЛВ становится адаптивной величиной.

Найдены признаки локальных экстремумов ЦФ и на их основе синтезированы процедуры оценивания параметров МГДИ, в которых ОЛВ в ходе выполнения процедуры автоматически адаптируется на каждой итерации. При этом очередная итерация проводится при выполнении некоторого условия. Если при минимальном ОЛВ  $\mu_{min}$  условие не выполняется, то ОЛВ увеличивается (до некоторого предела) до выполнения условия. Это позволяет для сложившейся на данной итерации  $Z_t$  минимизировать ее объем и, соответственно, сократить вычислительные затраты. При этом в условии выполнения итерации не используются дополнительные отсчеты изображений.

Отметим, что предлагаемый подход позволяет синтезировать процедуры для совместного решения задач оценивания параметров МГДИ и идентификации с решающим правилом, основанным на значениях ЦФ. В частности, как пример рассмотрена задача адаптации ОЛВ для ПГП идентификации фрагмента на изображении с одновременным определением параметров его местоположения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 07-01-00138-а.

### Литература

- [1] *Tashlinskiĭ Alexander*. Computational Expenditure Reduction in Pseudogradient Image Parameter Estimation // Computational Science — ICCS 2003. — 2003. — Part II (vol. 2658). — Pp. 456–462.
- [2] *Цыпкин Я. З.* Информационная теория идентификации. — Москва: Наука. Физматлит, 1995. — 336 с.
- [3] *Minkina G. L., Samojlov M. U., Tashlinskiĭ A. G.* Employment of the Objective Functions in Pseudogradient Estimation of Interframe Geometric Deformations of Image // Patt. Rec. and Im. Anal. — 2005. — No. 1, vol. 15. — Pp. 247–248.