

Анализ и оптимизация процедур псевдоградиентного оценивания геометрических деформаций последовательностей изображений

Ташлинский А. Г.

tag@ulstu.ru

Ульяновск, Ульяновский государственный технический университет

Задачей работы является создание и реализация на базе вычислительных средств оптимальных по различным критериям процедур оценивания параметров межкадровых геометрических деформаций изображений. Эта задача представляет как самостоятельный научный интерес, так и служит составной частью решения многих других задач обработки и анализа изображений.

В результате межкадровых геометрических деформаций изображений (МГДИ), одни и те же элементы сцены на разных кадрах изображений имеют различные координаты. Эту ситуацию можно описать деформацией сетки отсчетов, считая сцену неподвижной. Синтез процедур оценивания МГДИ невозможен без задания модели деформаций. Простейшим подходом является задание смещения элемента сцены в каждом узле $\bar{j} = (j_x, j_y)^T$ сетки $\Omega_{\bar{j}}$ деформированного кадра относительно его положения на сетке опорного кадра, что может быть задано вектором $\bar{h}_{\bar{j}} = (h_{j_x}, h_{j_y})^T$. Система таких векторов образует векторное случайное поле. Другой подход к описанию МГДИ состоит в том, что каждое положение сетки может рассматриваться как система координат. Тогда МГДИ могут быть представлены как случайное преобразование системы координат деформированного кадра в систему координат опорного кадра. Во многих случаях, когда вид МГДИ известен и описывается неким набором параметров $\bar{\alpha}$, преобразование $\bar{h} = f(\bar{j}, \bar{\alpha})$ может быть задано в параметрической форме, что существенно облегчает его описание. Для плоских изображений при ортонормированной системе координат, когда каждой точке изображения \mathbf{Z} ставится в соответствие упорядоченная пара чисел (j_x, j_y) декартовых координат, примерами могут служить евклидова, аффинная и проективная модели МГДИ. Деформированное изображение $\mathbf{S}^{(2)} = \{s_{\bar{j}}^{(2)}\}$, $\bar{j} \in \Omega_{\bar{j}}$ можно считать полученным из изображения $\mathbf{S}^{(1)} = \{s_{\bar{j}}^{(1)}\}$ посредством некоторого функционального преобразования $s_{\bar{j}}^{(2)} = f(\{s_{\bar{j}}^{(1)}\}, \bar{j}, \bar{\alpha})$, известного с точностью до параметров МГДИ $\bar{\alpha}$. Следует также заметить, что реально наблюдаемы только кадры изображений, возмущенных помехой.

Получены оптимальные процедуры оценивания МГДИ, в частности с использованием метода максимального правдоподобия [1], однако на

практике они не реализуемы, поскольку требуют колоссальных вычислительных затрат. Перспективным направлением при оценивании параметров МГДИ является использование псевдоградиентных процедур (ППГ) [3]:

$$\hat{\alpha}_t = \hat{\alpha}_{t-1} - \mathbf{\Lambda}_t \bar{\beta}_t \left(J(\mathbf{Z}^{(1)}, \mathbf{Z}^{(2)}, \hat{\alpha}_{t-1}) \right), \quad (1)$$

где $\bar{\alpha}$ — вектор оцениваемых параметров преобразования изображения $\mathbf{Z}^{(1)}$ в изображение $\mathbf{Z}^{(2)}$, задающий геометрические деформации изображения $\mathbf{Z}^{(1)}$; $t = 1, \dots, T$ — номер итерации; $\mathbf{\Lambda}_t$ — матрица усиления; $\bar{\beta}_t(J)$ — псевдоградиент целевой функции (ЦФ) $J(\mathbf{Z}^{(1)}, \mathbf{Z}^{(2)}, \hat{\alpha}_{t-1})$, характеризующей качество оценивания. В ППГ оценивания МГДИ псевдоградиент $\bar{\beta}_t$ находится, как правило, по локальной выборке Z_t объема μ , представляющей собой отсчеты $z_{\bar{j}t}^{(2)}$ деформированного изображения $\mathbf{Z}^{(2)}$, попавшие в локальную выборку на t -й итерации, и отсчеты $\tilde{z}^{(1)}(\bar{j}_t, \hat{\alpha}_{t-1})$, взятые из некоторого непрерывного изображения $\tilde{\mathbf{Z}}^{(1)}$, полученного из $\mathbf{Z}^{(1)}$ (например, интерполяцией), где $\bar{j}_t \in \Omega_{\bar{j}t} \in \Omega_{\bar{j}}$ — координаты отсчетов $z_{\bar{j}t}^{(2)}$; $\Omega_{\bar{j}t}$ — план локальной выборки на t -й итерации.

На основе упрощения оптимальных процедур можно показать, что в предположении реализуемости ППГ в системах реального времени в качестве ЦФ целесообразно выбирать: если яркостными искажениями можно пренебречь — средний квадрат межкадровой разности; при межкадровых яркостных искажениях, близких к линейным, — выборочный коэффициент межкадровой корреляции. С точностью до постоянного множителя выражения для псевдоградиентов этих ЦФ можно записать как:

$$\bar{\beta}_t = \sum_{\bar{j}_t \in \Omega_t} \frac{\partial \tilde{z}^{(1)}(\bar{j}_t, \bar{\alpha})}{\partial \bar{\alpha}} \left(\tilde{z}^{(1)}(\bar{j}_t, \bar{\alpha}) - z_{\bar{j}t}^{(2)} \right) \Big|_{\bar{\alpha} = \hat{\alpha}_{t-1}}; \quad (2)$$

$$\bar{\beta}_t = - \sum_{\bar{j}_t \in \Omega_t} \frac{\partial \tilde{z}^{(1)}(\bar{j}_t, \bar{\alpha})}{\partial \bar{\alpha}} z_{\bar{j}t}^{(2)} \Big|_{\bar{\alpha} = \hat{\alpha}_{t-1}}. \quad (3)$$

С использованием ЦФ, соответствующих (2) и (3), получены различные классы ППГ для ситуаций заданного и неизвестного набора параметров модели МГДИ [2]. Однако вопросы их оптимизации по различным критериям исследованы явно недостаточно.

На погрешность оценок параметров МГДИ влияет большое число факторов. Если разделить их на две группы (к первой отнесем факторы, заданные априорно и не зависящие от вида ППГ: плотности распределения вероятностей (ПРВ) и автокорреляционные функции изображе-

ний и мешающего шума, вид ЦФ, а ко второй — факторы, на которые можно воздействовать при реализации ППП: вид псевдоградиента и матрицы усиления, начальное приближение параметров и число итераций), то используя вероятности: $\rho_i^+(\bar{\varepsilon})$ — изменения оценки i -го параметра в сторону оптимального значения α_i^* , $\rho_i^-(\bar{\varepsilon})$ — от α_i^* и $\rho_i^0(\bar{\varepsilon})$ — того, что оценка останется неизменной, можно найти ПРВ оценок $\hat{\alpha}_t$ на каждой итерации, где $\bar{\varepsilon} = \hat{\alpha} - \bar{\alpha}^*$ — вектор рассогласования оценок. Вопросы нахождения вероятностей $\bar{\rho}_i(\bar{\varepsilon}) = (\rho_i^+(\bar{\varepsilon}), \rho_i^0(\bar{\varepsilon}), \rho_i^-(\bar{\varepsilon}))^T$ и матрицы вероятностей одношаговых переходов вызывают наибольшую сложность. Для нахождения $\bar{\rho}_i(\bar{\varepsilon})$ можно воспользоваться результатами, полученными в работе [4], а для определения вероятностей одношаговых переходов — тем, что последовательность оценок $\hat{\alpha}_0, \dots, \hat{\alpha}_t, \dots, \hat{\alpha}_T$, получаемая с помощью ППП (1), является векторным марковским процессом без последействия [5]. Заметим также, что $\bar{\rho}_i(\bar{\varepsilon})$ зависит не только от модели МГДИ, автокорреляционной функции изображений и параметров помех, но также и от плана локальной выборки Z_t , и может носить сложный характер с несколькими локальными экстремумами.

В работе представлены результаты:

- исследования влияние объема и плана локальной выборки отсчетов изображений, используемых для нахождения псевдоградиента ЦФ, на вероятностные характеристики изменения оценок параметров в процессе их сходимости;
- разработки методики и алгоритма расчета ПРВ погрешностей оценок параметров деформаций, полученных за конечное число итераций, на основе новой математической модели процесса псевдоградиентного оценивания при заданных вероятностных моделях изображений и мешающих шумов.

Анализируются возможности и пути:

- сокращения вычислительных затрат при расчете вероятностных характеристик оценок параметров МГДИ;
- создания методик априорной оптимизации ОЛВ, используемой для нахождения псевдоградиента ЦФ в процессе рекуррентного оценивания МГДИ, при заданных ПРВ яркостей и автокорреляционных функциях изображений;
- синтеза псевдоградиентных процедур, в которых ОЛВ автоматически адаптируется на каждой итерации до условия выполнения итерации, способствующего выходу процедур из локальных экстремумов ЦФ.

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

Литература

- [1] *Васильев К. К., Ташлинский А. Г.* Оценивание параметров деформаций многомерных изображений, наблюдаемых на фоне помех // Распознавание образов и анализ изображений: новые информационные технологии: Труды IV Всероссийская конф. в 2 ч. — 1998. — Ч. 1. — С. 261–264.
- [2] *Ташлинский А. Г.* Псевдоградиентное оценивание пространственных деформаций последовательности изображений // Научные технологии. — 2002. — Т. 3, № 1. — С. 32–43.
- [3] *Цыпкин Я. З.* Информационная теория идентификации. — Москва: Наука. Физматлит, 1995. — 336 с.
- [4] *Minkina G. L., Samojlov M. U., Tashlinskii A. G.* Employment of the Objective Functions in Pseudogradient Estimation of Interframe Geometric Deformations of Image // *Patt. Rec. and Image Anal.* — 2005. — Vol. 15, No. 1. — Pp. 247–248.
- [5] *Ташлинский А. Г., Тихонов В. О.* Методика анализа погрешности псевдоградиентного измерения параметров многомерных процессов // *Известия вузов: Радиоэлектроника.* — 2001. — Т. 44, № 9. — С. 75–80.