

Применение взаимной информации в задаче стохастической привязки расфокусированных разноспектральных изображений

Р.М. Ибрагимов

Ульяновский государственный технический университет
Ульяновск, Россия
ibragimow.it@gmail.com

О.В. Шидиков

Ульяновский государственный технический университет
Ульяновск, Россия
oleg.shidikov@mail.ru

Аннотация—Рассмотрена эффективность применения релейных стохастических процедур привязки изображений в ситуации, когда одно из изображений расфокусировано. Произведено сравнение использования в качестве целевых функций привязки трех мер подобия изображений: взаимные информации Реньи, Шеннона и Тсаллиса.

Ключевые слова— привязка изображений, взаимная информация, Реньи, Шеннон, Тсаллис, расфокусировка, функция рассеяния точки.

1. ВВЕДЕНИЕ

Необходимость привязки изображений возникает при решении различных практических задач [1, 2], например, при обработке спутниковых и медицинских снимков, построении траектории автономных аппаратов и многих других. При этом привязываемые изображения могут быть получены в различных спектральных диапазонах, что дает дополнительную априорную неопределенность, поскольку помимо взаимных искажений пространственного характера для них характерны нелинейные яркостные искажения априорно неизвестного вида. Для таких условий хорошо себя зарекомендовали стохастические релейные процедуры привязки [3], синтезированные на базе теоретико-информационных, мер подобия изображений [4, 5]. На привязываемых изображениях могут присутствовать также дополнительные пространственные и яркостные искажения, в частности расфокусировка и смаз, вызванные, например, движением и различным временем экспозиции привязываемых изображений. В работе рассматривается влияние расфокусировки одного из изображений на качество привязки.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Привязка изображений $\mathbf{Z}^{(1)}$ и $\mathbf{Z}^{(2)}$ осуществляется по оцененным параметрам \mathbf{a} заданной модели деформаций. Параметры взаимных деформаций изображений оцениваются стохастической рекуррентной релейной процедурой [6]:

$$\hat{\mathbf{a}}_t = \hat{\mathbf{a}}_{t-1} \pm \Lambda_t \text{sign} \left(\boldsymbol{\beta} \left(\mathbf{J} \left(\hat{\mathbf{a}}_{t-1}, \tilde{\mathbf{Z}}_t^{(1)}, \mathbf{Z}^{(2)} \right) \right) \right) \quad (1)$$

где $\boldsymbol{\beta}(\mathbf{J}(\cdot))$ - стохастический градиент некоторой целевой функции $\mathbf{J}(\cdot)$; Λ_t - матрица обучения, определяющая скорость изменения оценок $\hat{\mathbf{a}}$ параметров на итерациях оценивания; $\tilde{\mathbf{Z}}_t^{(1)}$ - передискретизированное по оценкам $\hat{\mathbf{a}}_{t-1}$ изображение $\mathbf{Z}^{(1)}$; $t = \overline{1, T}$ - номер итерации. При этом стохастический градиент определяется не по всем

отсчетам изображений $\tilde{\mathbf{Z}}_t^{(1)}$ и $\mathbf{Z}^{(2)}$, а по небольшой их локальной выборке объема μ .

В работе в качестве модели деформаций использовалась модель подобия, включающая в себя параметры сдвига h_x и h_y по базовым осям, угла поворота φ и коэффициента масштаба k . В качестве ЦФ исследовались взаимные информации (ВИ) Реньи [7], Шеннона [8] и Тсаллиса [9]. Для имитации расфокусировки применялась функция рассеяния точки.

ВИ находятся через плотности и взаимные плотности распределения вероятностей (ПРВ) изображений локальных выборок отсчетов из $\tilde{\mathbf{Z}}_t^{(1)}$ и $\mathbf{Z}^{(2)}$. В свою очередь ПРВ в работе находились методом окон Парзена [10] как суперпозиция элементарных гауссовых ПРВ, центрированных на яркостях элементов, попавших в локальную выборку.

Для вычисления стохастического градиента ВИ Реньи, Шеннона и Тсаллиса были найдены аналитические выражения для частных производных по оцениваемым параметрам. Так, ВИ Тсаллиса:

$$S = H(\tilde{\mathbf{Z}}_t^{(1)}) + H(\tilde{\mathbf{Z}}_t^{(1)}) - (1-q)H(\tilde{\mathbf{Z}}_t^{(1)})H(\tilde{\mathbf{Z}}_t^{(1)}) - H(\tilde{\mathbf{Z}}_t^{(1)}, \mathbf{Z}^{(2)}) \quad (2)$$

где $H(\mathbf{Z}) = (q-1)^{-1} \sum_i p_z (1-p_z^{q-1})$ - энтропия Тсаллиса

порядка q изображения \mathbf{Z} , $H(\tilde{\mathbf{Z}}_t^{(1)}, \mathbf{Z}^{(2)}) =$

$$= (q-1)^{-1} \left(1 - \sum_i \sum_k p_{z_i, z_{ik}}^q \right) - \text{совместная энтропия}$$

Тсаллиса $\tilde{\mathbf{Z}}_t^{(1)}$ и $\mathbf{Z}^{(2)}$, p_z и $p_{z_i, z_{ik}}$ - оценки ПРВ и

совместной ПРВ яркостей, $i, k = \overline{1, \mu}$. Тогда после нахождения

$$\frac{\partial H(\tilde{\mathbf{Z}}_t^{(1)})}{\partial \bar{\mathbf{a}}}, \quad \frac{\partial H(\mathbf{Z}^{(2)})}{\partial \bar{\mathbf{a}}},$$

$\frac{\partial H(\tilde{\mathbf{Z}}_t^{(1)}, \mathbf{Z}^{(2)})}{\partial \bar{\mathbf{a}}}$, и подстановки в (2) получаем $\boldsymbol{\beta}$.

3. ПРИМЕР РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ АЛГОРИТМА

Экспериментальная проверка влияния расфокусировки одного из привязываемых изображений проводилась на разноспектральных изображениях, имеющих деформации сцены. При этом деформации задавались как моделированием, так и имели естественный характер. На рис. 1 приведен пример, когда изображение рис. 1а - оптического диапазона, рис. 1б - рис. 1г - инфракрасного. Инфракрасное изображение имеет относительно оптического следующие

деформации: $h_x = 3,4$, $h_y = 6,2$, $\varphi = 7,4^\circ$ и $k = 1,15$. При этом, рис. 1в не имеет расфокусировки, рис. 1в – расфокусировано с цилиндрической функцией рассеяния точки радиуса $\mathfrak{R}=1$, рис. 1в – $\mathfrak{R}=2$. На рис. 2а приведена зависимость оценки сдвига по оси x от числа итераций при использовании ВИ Тсалиса, здесь красная кривая соответствует отсутствию расфокусировки, зеленая – $\mathfrak{R}=1$, синяя – $\mathfrak{R}=2$. Видно, что расфокусировка приводит к смещенности оценок. Это подтверждает и зависимость евклидова расстояния рассогласования (интегральная оценка точности привязки изображений) от числа итераций при ВИ Шеннона (рис. 2б), а также зависимости ЦФ от параметров рассогласования (рис. 3).

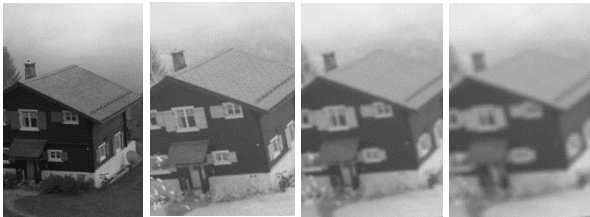


Рис. 1. Пример оптического и инфракрасного изображений с расфокусировкой.

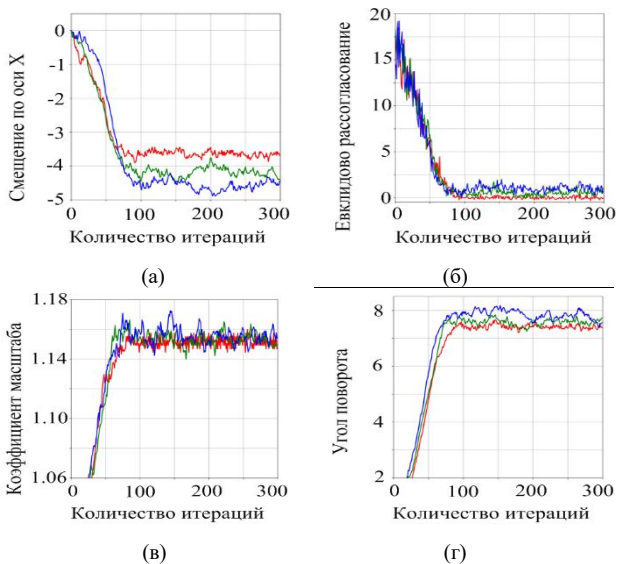


Рис. 2. Характеристики оценок параметров от числа итераций

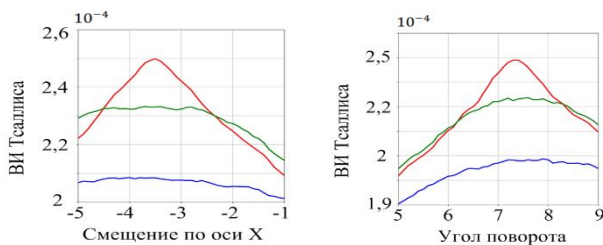


Рис. 3. Зависимости ЦФ от параметров рассогласования

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ экспериментальных результатов показал, что расфокусировка одного из привязываемых разноспектральных изображений влияет на скорость

сходимости и погрешность привязки. При этом влияние на скорость сходимости незначительное, в отличие от влияния на погрешность. Кроме того, наблюдается смещенность отдельных оценок параметров деформаций, которая вызвана, скорее всего, тем, что расфокусировка приводит к анизотропности корреляционных свойств изображения, которые важны при использовании в качестве целевой функции ВИ. При этом отметим, что они ещё более важны при использовании такой меры подобия, как межкадровая корреляция. Однако суммарная погрешность всегда меньше, чем погрешность отдельных параметров, т.к. адаптивные стохастические алгоритмы оценивают вектор деформаций комплексно (рис. 2в,г).

В целом, все исследуемые ЦФ имеют близкие характеристики. Но ВИ Тсалиса показала более устойчивые результаты.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-21-00513, <https://rscf.ru/project/22-21-00513/>.

ЛИТЕРАТУРА

- [8] Камаев, А.Н. Визуальная навигация автономного необитаемого подводного аппарата с глобальным поиском связей между изображениями / А.Н. Камаев, Д.А. Карманов // Компьютерная оптика. – 2018. – Т. 42, № 3. – С. 457-467. DOI:10.18287/2412-6179-2018-42-3-457-467.
- [9] Magdeev, R.G. Efficiency of object identification for binary images / R.G. Magdeev, A.G. Tashlinskii // Computer Optics. – 2019. – Vol. 43(2). – P. 277-281. DOI:10.18287/2412-6179-2019-43-2-277-281.
- [10] Tashlinskii, A.G. Optimization of Goal Function Pseudogradient in the Problem of Interframe Geometrical Deformations Estimation / A.G. Tashlinskii // Pattern Recognition Techniques, Technology and Applications. – Austria, Vienna: I-Tech, 2008. – P. 249-280. DOI:10.5772/6244.
- [11] Chehade, W.E.H. Comparison of mutual information and its point similarity implementation for image registration / W.E.H. Chehade, P. Rogelj // International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). – 2021. – Vol. 11(3). – P. 2613-2620. DOI:10.11591/ijece.v11i3.pp2613-2620.
- [12] Tashlinskii, A.G. Similarity and dissimilarity measures as objective function in image registration/ A.G. Tashlinskii, S.V. Voronov // SWorld Journal. – 2015. – Vol. J11510. – P. 32-48.
- [13] Tashlinskii, A.G. Usage of mutual information as similarity measures for stochastic binding images / A.G. Tashlinskii, G.L. Safina, R.O. Kovalenko, R.M. Ibragimov // IEEE Conference Proceedings. – 2021. – P. 1-4. DOI: 10.1109/ITNT52450.2021.9649386.
- [14] Hongyang, J. Neonatal Fundus Image Registration and Mosaic Using Improved Speeded Up Robust Features Based on Shannon Entropy / J. Hongyang, G. Mengdi, Y. Kang, Z. Dongdong, M. He, Q. Wei, // Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC). – 2021 – P. 3004-3007. DOI: 10.1109/EMBC46164.2021.9630593.
- [15] Pan, M. Medical Image Registration Based on Renyi's Quadratic Mutual Information / M. Pan, Z. Fen // IETE Journal of Research. – 2020. – P. 1-9. DOI: 10.1080/03772063.2020.1787873.
- [16] Sholehkerdar, A. Theoretical analysis of Tsallis entropy-based quality measure for weighted averaging image fusion / A. Sholehkerdar, J. Tavakolia, Z. Liub // Information Fusion. – 2020. – Vol. 58. – P. 69-81. DOI:10.1016/j.inffus.2019.12.010.
- [17] Mussa, H.Y. The Parzen Window method: In terms of two vectors and one matrix / H.Y. Mussa, J.B.O. Mitchell, A.M. Afzalb // Pattern Recognition Letters. – 2015. – Vol. 63. – P. 30-35. DOI: 10.1016/j.patrec.2015.06.002.