

УДК 004.93'12

**СИНТЕЗ И АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ
В УСЛОВИЯХ ДЕФОРМИРУЮЩИХ ИСКАЖЕНИЙ И АДДИТИВНЫХ ПОМЕХ*****А. В. АКИМОВ, А. А. СИРОТА***Воронежский государственный университет,
Россия, Воронеж, 394018, Университетская пл., д. 1*

Аннотация. Рассмотрена задача распознавания цифровых сигналов в условиях деформирующих искажений формы этих сигналов и аддитивного гауссовского шума. Для проведения синтеза алгоритмов распознавания предложена математическая модель внесения деформации для сигналов известной или случайной формы. Модель основана на введении нелинейного оператора деформации как оператора размещения с повторениями элементов исходного дискретного сигнала с добавлением аддитивной помеховой составляющей, вызванной ошибками квантования непрерывной функции деформации. Синтезированы и исследованы оптимальный, основанный на точном вычислении функций правдоподобия, и квазиоптимальный, основанный на использовании гауссовского приближения функций правдоподобия, алгоритмы распознавания. Проведено моделирование алгоритмов для различных вариантов задания деформирующих искажений в виде детерминированных функций и в виде реализаций случайной функции. Выполнено сравнение экспериментальной вероятности ошибки с ее теоретической оценкой при различных отношениях сигнал–шум.

Ключевые слова: распознавание цифровых сигналов; деформирующие искажения; погрешность квантования; критерий максимума апостериорной вероятности

1. ВВЕДЕНИЕ

Во многих практически важных ситуациях в ходе цифровой обработки сигналов и изображений наряду с наличием аддитивного шума возникает специфический вид помеховых воздействий нелинейного характера — деформирующие искажения (ДИ). В частности, воздействие ДИ случайного характера при распознавании цифровых видеосигналов приводит к тому, что их форма нелинейным образом иска-

жается с локальным сжатием или растяжением относительно временной оси [1].

Подобная ситуация встречается в задачах распознавания речи [2], жестов и движений [3–5], извлечения данных (data mining) [6], а также при анализе движущегося потока объектов, например, элементов зерновых смесей в системах сепарации реального времени [7]. Не вызывает сомнений также полезность использования подобной модели помеховых искажений в задаче анализа цифровых изображений, например, распознавания лиц в условиях их ес-

* Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ по проекту № 8.3844.2017/4.6 «Разработка средств экспресс-анализа и классификации элементов неоднородного потока зерновых смесей с патологиями на основе интеграции методов спектрального анализа и машинного обучения».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Aghabozorgi, S.; Shirkhorshidi, A. S.; Wah, Teh Ying. Time-series clustering – A decade review. *Information Systems*, v.53, p.16-38, 2015. DOI: [10.1016/j.is.2015.04.007](https://doi.org/10.1016/j.is.2015.04.007).
2. Rabiner, L.; Juang, B. H. *Fundamentals of Speech Recognition*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall PTR, 1993. 507 p.

3. Corradini, A. Dynamic time warping for off-line recognition of a small gesture vocabulary. *Proc. of IEEE ICCV Workshop on Recognition, Analysis, and Tracking of Faces and Gestures in Real-Time Systems*, 13 Jul. 2001, Vancouver, BC, Canada. IEEE, 2001, p.82-89. DOI: [10.1109/RATFG.2001.938914](https://doi.org/10.1109/RATFG.2001.938914).
4. Gavrila, D. M.; Davis, L. S. Towards 3-D model-based tracking and recognition of human movement: a multi-view approach. *IEEE Int. Workshop on Automatic Face- and Gesture Recognition*. IEEE Computer Society, Zurich, 1995, p.272-277. DOI: [10.1.1.56.5329](https://doi.org/10.1.1.56.5329).
5. Ranacher, P.; Tzavella, K. How to compare movement? A review of physical movement similarity measures in geographic information science and beyond. *Cartography and Geographic Information Science*, v.41, n.3, p.286-307, 2014. DOI: [10.1080/15230406.2014.890071](https://doi.org/10.1080/15230406.2014.890071).
6. Keogh, E.; Ratanamahatana, C. A. Exact indexing of dynamic time warping. *Knowl. Inf. Syst.*, v.7, n.3, p.358-386, 2005. DOI: [10.1007/s10115-004-0154-9](https://doi.org/10.1007/s10115-004-0154-9).
7. Алгазинов, Э.К.; Дрюченко, М.А.; Минаков, Д.А.; Сирота, А.А.; Шульгин, В.А. Аппаратно-программный комплекс для анализа неоднородного потока объектов в системах фотосепарации реального времени. *Измерительная техника*, № 5, С. 23-29, 2014.
8. Felzenswalb, P.; McAllester, D.; Ramanan, D. A discriminatively trained, multiscale, deformable part model. *Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, 23-28 Jun, 2008, Anchorage, AK, USA. IEEE, 2008, p.1-8. DOI: [10.1109/CVPR.2008.4587597](https://doi.org/10.1109/CVPR.2008.4587597).
9. Zhu, X.; Ramanan, D. Face detection, pose estimation and landmark localization in the wild. *Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, 16-21 June 2012, Providence, RI, USA. IEEE, 2012, p.2879-2886. DOI: [10.1109/CVPR.2012.6248014](https://doi.org/10.1109/CVPR.2012.6248014).
10. Keysers, D.; Deselaers, T.; Gollan, C.; Ney, H. Deformation models for image recognition. *IEEE Trans. Pattern Analysis Machine Intelligence*, v.29, n.8, p.1422-1435, 2007. DOI: [10.1109/TPAMI.2007.1153](https://doi.org/10.1109/TPAMI.2007.1153).
11. Акимов, А.В.; Сирота, А.А. Модели и алгоритмы искусственного размножения данных для обучения алгоритмов распознавания лиц методом Виолы-Джонса. *Компьютерная оптика*, Т. 40, № 6, С. 911-918, 2016. DOI: [10.18287/2412-6179-2016-40-6-911-918](https://doi.org/10.18287/2412-6179-2016-40-6-911-918).
12. Fukunaga, K. *Introduction to Statistical Pattern Recognition*. San Diego, CA: Academic Press, 1990. 591 p.
13. Сирота, А.А. *Методы и алгоритмы анализа данных и их моделирование в MATLAB*. СПб.: БХВ-Петербург, 2016. 384 с.
14. Гоноровский, И.С. *Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов*. 4-е изд. М.: Радио и связь, 1986. 512 с.
15. Widrow, B.; Kollar, I. *Quantization Noise: Roundoff Error in Digital Computation, Signal Processing, Control, and Communications*. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. 751 p.

Поступила в редакцию 15.03.2017

После переработки ?