

## СЕКЦИЯ «КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ»

### ТЕХНИКА АДАПТИВНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

**В. И. Джиган**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт проблем проектирования в микроэлектронике  
Российской академии наук (ИППМ РАН)  
E-mail: djigan@yandex.ru*

Рассматриваются ключевые аспекты адаптивной обработки сигналов – одного из направлений современной цифровой обработки сигналов, среди которых структуры адаптивных фильтров и критерии, находящиеся в основе работы этих фильтров. Рассматриваются основные приложения адаптивных фильтров, такие как эхоподавление, выравнивание электрических характеристик каналов связи, адаптивные антенные решетки, активное шумоподавление, цифровое предискажение сигналов и др. Представлены основные алгоритмы адаптивной фильтрации: алгоритм Ньютона, наискорейшего градиентного спуска, алгоритм по критерию наименьших квадратов и ряд рекурсивных алгоритмов по критерию наименьших квадратов. Обсуждаются перспективные направления в адаптивной фильтрации.

*Ключевые слова: адаптивная обработка сигналов; адаптивный фильтр; эхоподавление; выравнивание электрических характеристик каналов связи; адаптивная антенная решетка; активное шумоподавление.*

Создание продуктов материального мира во все времена включало в себя элементы исследования, проектирования, производства и тестирования. Еще в недалеком прошлом эти элементы хоть и соседствовали друг с другом, но часто базировались на использовании совершенно разных технологий и принципов. Сегодня, благодаря успехам современной микроэлектроники, производятся электронные компоненты, на базе которых выпускаются достаточно мощные и в тоже время компактные компьютеры, аналоги которых еще не так давно занимали огромные помещения. Это позволило часть этапов создания самых разнообразных изделий, особенно в части их исследования и проектирования, сосредоточить в пределах одного рабочего стола. В первую очередь, это касается элементов электронной техники и изделий на их основе.

Эти изделия все больше становятся цифровыми, что гарантирует их повторяемость, обеспечивает работу в широком диапазоне температур, а также позволяет автоматизировать их тестирование и настройку при изготовлении. В основе большинства таких изделий находится цифровая обработка сигналов (ЦОС), зародившаяся в первой половине уже про-

шлого века, когда для реализации ее принципов еще не были созданы достаточно эффективные по вычислительной мощности, энергопотреблению и габаритам электронные компоненты.

Адаптивная обработка сигналов (АОС), под которой в первую очередь понимается адаптивная фильтрация, является одним из бурно развивающихся направлений в современно ЦОС. Начало развития этого направления было положено в конце 1950-х годов. За время своего существования АОС прошла становление от исследований отдельных энтузиастов до стройной теории, результаты которой сегодня широко используются на практике.

Развитию АОС способствует и то, что она становится одной из преподаваемых технических дисциплин. В основном, эту дисциплину преподают в тех западных университетах, где ведутся соответствующие научные исследования, т. е. имеются соответствующие специалисты. Однако и на просторах Союза Независимых Государств (СНГ) в ряде технических университетов уже также преподается АОС, и не только в рамках ЦОС, но и как отдельная дисциплина.

В основе большинства адаптивных устройств находится адаптивный цифровой фильтр, весовые коэффициенты, которого вычисляются в процессе его работы. Считается, что такой фильтр приспособливается или адаптируется к условиям своего функционирования. Необходимость использования именно адаптивных фильтров обычно обусловлена либо априорной неопределенностью относительно условий функционирования, либо тем, что эти условия могут меняться в процессе работы.

Примерами известных устройств, в основе которых находится адаптивный фильтр, являются адаптивные антенные решетки, компенсаторы эхосигналов, эквалайзеры каналов связи и ряд других. Эти устройства – неотъемлемые элементы оборудования современных радиотехнических систем и систем связи, характеристики которых часто недостижимы без использования адаптивной обработки сигналов.

Действительно, подавление активных помех, полоса частот которых совпадает с полосой частот полезного сигнала, в радиолокации и беспроводной связи осуществляется с помощью адаптивных антенных решеток. Эхосигналы являются помехами для модемов, работающих в дуплексном режиме, а межсимвольная интерференция – помехами в каналах связи с ограниченной полосой пропускания. Для достижения высоких скоростей передачи данных эти помехи должны быть подавлены, что осуществляется, соответственно, с помощью адаптивных эхокомпенсаторов и эквалайзеров. Перечисленные, а также ряд других адаптивных устройств, продемонстрировавших свою эффективность и незаменимость на практике, а также многолетние теоретические наработки

позволяют считать адаптивную фильтрацию или в более широком смысле АОС сложившимся научно-техническим направлением, которое и сегодня продолжает развиваться.

Результаты этого развития демонстрируются огромным разнообразием радиоэлектронных продуктов, предлагаемых на современном мировом рынке, в которых используются адаптивные устройства, а также огромным числом научно-технических публикаций, которое по разным оценкам сегодня превосходит несколько десятков тысяч. Вопросы адаптивной обработки сигналов также рассматриваются и в ряде свежих специализированных книг [1-6], в более ранних книгах [7-14], и даже в учебных пособиях [15-18].

Несмотря на огромные достижения в этой области знаний, здесь все еще существует достаточно большое число нерешенных задач и направлений для дальнейших исследований, приносящих новые результаты. Это адаптивные фильтры с бесконечной импульсной характеристикой, многоскоростные адаптивные фильтры, нелинейные адаптивные фильтры, широкополосные адаптивные решетки и ряд других.

Решение этих задач позволит придать новое качество радиотехническим устройствам и системам. Одновременно достижения микроэлектроники позволят сделать эти устройства миниатюрными, а системы на их основе – малогабаритными.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Sayed A. H. Fundamentals of adaptive filtering. John Willey and Sons, 2003. 1125 p.
2. Sayed A. H. Adaptive filters. John Wiley and Sons, 2008. 785 p.
3. Diniz P. S. R. Adaptive filtering. Algorithms and practical implementation. 4-th edition. Springer, 2013. 652 p.
4. Farhang-Boroujeny B. Adaptive filters. Theory and applications. 2-nd edition. John Willey and Sons, 2013. 778 p.
5. Джиган В. И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы. М.: Техносфера, 2013. 528 с.
6. Naykin S. Adaptive filter theory. 5-th edition. Pearson Education, 2014. 889 p.
7. Цыпкин Я. З. Обучение и адаптация в автоматических системах. М.: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1968. 400 с.
8. Стратонович Р. Л. Принципы адаптивного приема. М.: Советское радио. 1973. 140 с.
9. Ширман Я. Д., Манжос В. Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. М.: Радио и связь, 1981. 416 с.
10. Журавлев А. К., Лукошкин А. П., Поддубный С.С. Обработка сигналов в адаптивных антенных решетках. Л. : Издательство Ленинградского университета, 1983. 240 с.
11. Монзинго Р.А., Миллер Т. У. Адаптивные антенные решетки. Введение в теорию. Пер. с англ. Челпанова В. Г., Лексаченко В.А. М.: Радио и связь, 1986. 448 с.

12. Коуэн К. Ф. Н., Грант П.М. Адаптивные фильтры. Пер. с англ. Лихацкой Н.Н., Ряковского С.М. М.: Мир, 1988. 392 с.
13. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов. Пер. с англ. под ред. Шахгильдяна В.В. М.: Радио и связь, 1989. 440 с.
14. Пистолькорс А.А., Литвинов О. С. Введение в теорию адаптивных антенн. М.: Наука, 1991. 200 с.
15. Тараканов А. Н., Хрящев В. В., Приоров А. Л. Адаптивная цифровая обработка сигналов: учебное пособие. Ярославль: ЯрГУ, 2001. 134 с.
16. Джиган В.И. Адаптивная обработка сигналов в радиотехнических системах: учебное пособие. М.: МИЭТ, 2012. 148 с.
17. Джиган В.И., Лесников В.А. Адаптивная цифровая фильтрация в радиотехнике и связи: учебное пособие. Киров: Вятский государственный университет, 2014. 100 с.
18. Джиган В.И. Адаптивные алгоритмы и устройства радиотехнических систем: учебн. пособие. М.: МИЭТ, 2016. 104 с.

## DECONVOLUTION OF “BIG DATA” IN CANCER GENOMICS: FROM PAN-CANCER LEVEL TO SINGLE CELLS

**M. Chepeleva<sup>1,2)</sup>, Y. Wang<sup>2)</sup>, A. Kakoichankava<sup>3)</sup>,  
A. Muller<sup>2)</sup>, T. Kaoma<sup>2)</sup>, P. V. Nazarov<sup>2)</sup>**

*1) Belarusian State University, Minsk, Belarus*

*2) Luxembourg Institute of Health, Strassen, Luxembourg*

*3) Vitebsk State Medical University, Vitebsk, Belarus*

*Corresponding author: P. V. Nazarov (petr.nazarov@lih.lu)*

Large genomics pan-cancer datasets that were made publically available in the last decade are now complemented with measurements at single cell level and may include up to a billion data points. Here we show how deconvolution method based on independent component analysis can process transcriptomes measured for bulk samples at pan-cancer level and for single-cell measurements from normal tissues and neoplasia.

*Key words: transcriptomics; RNA-seq; independent component analysis; pan-cancer; single-cell.*

**Introduction.** The majority of tumor samples collected from patients and studied by high-throughput transcriptomics are heterogeneous at three levels. First, bulk tissue samples contain a mixture of several cell types. Their proportions vary from one specimen to another and are difficult to control. Second, cancers naturally develop inter and intra-tumor heterogeneity of malignant cells. Third, the evolving technology may introduce technical biases and limit comparison of data originated from new patients to large publicly available datasets, such as The Cancer Genome Atlas (TCGA) [1].

One of experimental methods, developed to disentangle the complexity of bulk biological samples and characterize various cell populations is a single-