

НЕСТАНДАРТНОЕ АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ НОВОЙ БИОАКУСТИЧЕСКОЙ МЕТРОЛОГИИ¹

Адамович Е.Д.

ИНЭПХФ РАН (внешт. сотр.; ранее – практикант)

Биоакустический сигнал характеризуется совокупностью характеристик – дескрипторов, лишь полная совокупность которых обеспечивает полноту его измерения и автоматической идентификации. Между тем, современные технологии измерений, метрологические подходы и методы, распространенные в биоакустике, характеризуют лишь небольшую часть данных и не используют полные выборки аналоговой информации соответствующих регистрограмм. В связи с этим возникает потребность в создании новой парадигмы измерений и метрологии биоакустического исследования, в которой данные дескрипторы являются архиважными для идентификации систем. При разработке данного направления мы базировались на работах, ранее выполнявшихся членами нашей группы в иных направлениях, но сформировавших по некоторым позициям базу для нового подхода. Предметом настоящей статьи является ввод в проблематику современного биоакустического «дескрипторного» приборостроения.

Введение: постановка проблематики.

Биоакустический сигнал характеризуется совокупностью характеристик – дескрипторов, лишь полная совокупность которых обеспечивает полноту его измерения и автоматической идентификации. Между тем, современные технологии измерений, метрологические подходы и методы, распространенные в биоакустике, характеризуют лишь небольшую часть данных и не используют полные выборки аналоговой информации соответствующих регистрограмм. В связи с этим возникает потребность в создании новой парадигмы измерений и метрологии биоакустического исследования, в которой данные дескрипторы являются архиважными для идентификации систем. При разработке данного направления мы базировались на работах, ранее выполнявшихся членами нашей группы в иных направлениях, но сформировавших по некоторым позициям базу для нового подхода.

В работе [1] предложено использование множества различных переменных комплексного анализа сигнала в биоакустическом фингерпринтинге. Это можно имплементировать и в морской биоакустике. В работе [2] приведено

© Mathematical Bioacoustics Group

```
<group uri="http://www.myexperiment.org/group.xml?id=1297"  
resource="http://www.myexperiment.org/groups/1297" id="1297">  
<id>1297</id>  
<new_member_policy>open</new_member_policy>  
<created-at>2016-02-11 17:39:49 UTC</created-at>  
<description/>  
<title>Mathematical Bioacoustics Group</title>
```

обоснование указанного подхода с внедрением дополнительных дескрипторов в анализ поведения и биоакустическую таксономию морской фауны. Прототипом данного подхода явилась мультиспектральная или мультиплексная диагностика в биомедицинском анализе, в котором совокупность различных дескрипторов порождает диагностический предиктор и позволяет установить «таксономию» патогенного агента [3].

Приближение данного подхода к гидробиологии впервые было достигнуто в технологиях подстроечного сопоставления диапазонов «зеленой зоны» разных параметров, оптимальных для тех или иных видов либо характеристических для них, с оптимумами этих видов по справочным данным (в аналоговом режиме) [4]. Приложимость к физиологическим данным, в т.ч. – дистанционно-телеметрическим [5], систем альтернативных факторов активности и критериев идентификации неоднократно демонстрировалась нашей группой в последние годы: продемонстрированы возможности использования «спидометрических», «тахометрических» и «акселерометрических» дескрипторов в [6], возможность использования полной номенклатуры специфического радиоизмерительного оборудования для радиочастотной идентификации тех или иных клеточных структур на автономных телеметрических чипах [7-9], отклика мембран клеток систематически-различных организмов [10] и т.д.

В биоакустике данная технология и идеология измерений была впервые рассмотрена на русском языке в [11] и, в отличие от всех зарубежных аналогов, было указано, что можно рассматривать не только статику паттернов анализа сигналов, но и динамику, реализуя тем самым динамический фингерпринтинг для биоакустической фенологии, популяционной динамики, биогеографии и пр. [12], осуществляя идентификацию не по подобию паттернов анализа сигнала, но по паттернам географического распределения местонахождений объектов с данными характеристическими паттернами. «Аэроэкологически» (и с точки зрения акустической локации) данная схема позволяла профилировать данные комплексного акустического мониторинга среды и, тем самым, реализовывать не одну лишь идентификацию видовой или поведенческой номенклатуры, но и экологическое опознавание участка, в котором она идентифицируется, для конкретного фенологического периода, ставя целью компаративный анализ в сопоставлении с аналитикой аналогичных регистрограмм за ранние годы или большие массивы времени (время от записи источника данных не влияет на распознавание записи, в случае его сохранности, даже в самых экстремальных случаях, когда «записью» - эквивалентом аналоговой регистрограммы является спектрально-считываемая и интерпретируемая сигнатура в материальном носителе, не рассматривавшимся как источник аналитических данных [13]) [14].

Цифровой анализ по многим дескрипторам можно целиком реализовывать в цифровом виде и в режиме реального времени, но для этого нужны машины реального времени (target box) [15] либо подключение к звуковой карте с заданием clock-ов с помощью MATLAB \ SIMULINK с синхронизацией согласованно со звуковой картой. Данный бюджетный вариант оптимален для телеметрии.

Представителями нашей группы он использовался только в анализе данных телеметрической регистрации погружных гидробиологических лабораторий на чипе с многофакторным картированием физико-химических дескрипторов [16,17]. Он же подходит для морской биоакустики, однако: массивы данных, которые получают многоканальными регистрирующими устройствами (в том числе профессиональными «звукооператорскими» и «звукоинженерными» аудиокартами) при высокой частоте дискретизации (192 кбит/с) на оптимально-высоком битрейте требуют колоссальных вычислительных мощностей и весьма сильно загружают даже многопроцессорные машины. Программные продукты, которые с этой целью писались нами для многоканальных систем на базе аудиокарт [18-20], страдали, в некоторой степени, перегрузкой вычислительных мощностей, нестабильностью работы и по понятной из того причине требовали множественной записи и корректирования ошибок регистрограмм (точнее – их спектральных и иных идентифицирующих преобразований) [18-20], выдавая в некоторых HANG-/FREEZE-случаях эффективность метрологического вывода на уровне аналоговых систем и ранних специализированных цифровых систем с внешним аналоговым преобразованием – на специализированных модулях или картах расширения [21].

Поэтому возникла вполне рациональная идея создания комплекса приборов и систем аналоговой обработки и индикации сигнала, связанных с аудиокартой компьютера, но выполняющих функции измерения и отображения информации автономно и с возможностью автономной калибровки / юстировки (возможной также и с помощью сигналов, генерируемых ЦАП аудиокарт, но реализуемой и без них).

Аналоговый характер предварительного преобразования без использования других карт или АЦП, кроме штатной аудиокарты, обеспечил чрезвычайно большую номенклатуру параметров измерений в аудиочастотном диапазоне (и совместимость ПК со всеми представителями номенклатуры измерительных приборов, начиная с 1950-х гг., что для ряда уникальных задач архиважно).

В качестве позитивного момента можно упомянуть также, что, в силу распространенности ПК (с обычными, в т.ч. встроенными звуковыми картами) нам удалось реализовать эксперимент по спектроскопии сигнальных последовательностей данных с биогеографической привязкой [22] просто

безвозмездно распространив тренд в ряде географически различных лабораторий и станций с устаревшим, но достаточным для данных целей оборудованием (осциллография, психометрия и т.д.).

Техническая имплементация принципа

Аннотируем некоторые системы, на которых реализован данный подход, претенциозное рассмотрение которых планируется в следующих работах:



Илл. 1: Анализатор энтропии, качества шума и фазы сигнала.

Техническая документация, выполнявшаяся, по просьбе заказчика, в 1 экз., представлена набором инструкций, соответствующих названиям приборов:

а) *Портативный корреляционный измеритель-анализатор коэффициента качества шума, энтропии, плотности вероятности, функции распределения и фазы сигнала на платформе X6-5 и Ф2-16 с двумя двухканальными АЦП и ЦАП (диапазоном до 2 МГц) для подачи записанного биоакустического сигнала на анализ (илл. 1).*

б) Компактный биоакустический коррелометр (илл. 2).



Илл. 2: Биоакустический коррелометр. Разработка: Адамович Е.Д.

с) Анализатор модуляции несущей и нановольтамперметрических шумов / флуктуаций несущей для анализа этологии, локации дельфинов с прецизионной индикацией (илл. 3).



Илл. 3: Прецизионный биоакустический анализатор модуляции несущей.

Аппарат разработан: Градов О.В., ГЕОХИ, 2010.

Аппарат реконструирован: Адамович Е.Д., 2014.

d) Компаративный двухканальный процентный коррелометр для анализа ориентации и её популяционной анизотропии у источников биоакустического сигнала (илл. 4).



Аппарат разработан:
Градов О.В., ГЕОХИ, 2010.
Аппарат реконструирован:
Адамович Е.Д., 2014.

Илл. 4: Ориентационный компаративный
двухканальный коррелометр.

Литература

1. *Adamovič E., Gradov O.* Joint Fourier and non-fourier spectral / pseudo-spectral approach to the lung bioacoustics and biomedical signal fingerprinting as a way to increase the quality of the lung diagnostics using supercomplex hybridization of different DSP methods // *Journal of Biomedical Technologies*. — 2015. — no. 1. — P. 35–38.
2. *Градов О.В.* Новейшие биоакустические методы для исследования морской фауны // *Биомедицинская инженерия и электроника*. — 2016. — № 1 (12). — С. 22–41.

3. Градов О. Комплексный взаимно-коррелированный контроль физиологии аквариумных растений и аквариумной экосистемы: от гидрохимии и биофизики к автоматизации на практике // *Аквафлора*. — 2014. — № 2(5). — С. 47–51.

4. Адамович Е. Д., Градов О. В. Телеметрическая сверхвысокочастотная ЭКГ-приставка с поточным конвейерным распознаванием образов в режиме реального времени // *Биомедицинская инженерия и электроника*. — 2015. — № 8(1). — С. 7–36.

5. Адамович Е. Д., Градов О. В. Спидометрические, тахометрические и герцметрические хронаксиметры и тетанометры с аналоговым реотомом для экспериментальных биомедицинских практикумов // *Биомедицинская инженерия и электроника*. — 2014. — № 3 (7). — С. 22–74.

6. Нотченко А. В., Градов О. В. Элементарные морфометрические лаборатории на чипе на основе гемоцитометрических камер с радиочастотной идентификацией культур и трансляцией спектрозонально-гистохимического мониторинга // *Журн. радиоэлектр.* — 2012. — № 2.

7. Notchenko A.V., Gradov O.V. Elementary morphometric labs-on-a-chip based on hemocytometric chambers with radiofrequency culture identification and relay of spectrozonal histochemical monitoring // *Visualization, Image Processing and Computation in Biomedicine*. — DOI: 10.1615/VisualizImageProcComputatBiomed.2013005968 – 2013. — Vol. 2.

8. Градов О. В., Нотченко А. В. Спектрозональные лаборатории на чипе с радиочастотной трансляцией // *Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии*. — 2012. — Книга 3, Секция 6. — сс. 63-68.

9. Градов О. Многофакторная патч-кламп-спектроскопия как метод анализа процессов сигнализации и регуляции клеточных функций ионными каналами // *Цитология*. — 2015. — Т. 57, № 9. — С. 625–626.

10. Градов О. В. Биоакустический фингерпринтинг – многофакторный метод автоматизированной идентификации орнитофауны // *Бутурлинский сборник*. — Т. 4. — Изд-во КТП; Ульяновск, 2012. — С. 65–74.

11. *Градов О. В., Нотченко А. В.* Автоматический орнито-фенологический мониторинг и популяционно-видовое картирование территорий при таксономическом биоакустическом фингерпринтинге // *Бутурлинский сборник*. — Т. 4. — КТП Ульяновск, 2012. — С. 75–84.

12. *Орехов Ф. К., Градов О. В.* Методы, подходы и инструменты многофакторной хемоинформатики и биоинформатики в геоархеологических / археоминералогических исследованиях на спектроскопической и спектрографической базе // *Геоархеология и археологическая минералогия*. — 2015. — № 2 — С. 45–48.

13. *Градов О. В.* Автоматическое биоакустическое профилирование лесных экосистем, его экологическое и этологическое значение // XII Международная конференция Леса Евразии, Agenda. — Издательство Московского государственного университета леса Москва, 2012. — С. 49.

14. *Александров П. Л., Градов О. В.* Конвенционные патч-кламп-автоматы с обратной связью для многофакторных лабораторий на чипе с использованием интерфейсов вычислительных машин реального времени // *Биотехносфера*. — 2014. — Т. 3, № 33. — С. 13–17.

15. *Градов О. В.* Микротоннельные многофакторные телеметрические установки как общедоступные зонды для поточного исследования болотных сред // *Болотные экосистемы: фундаментальные аспекты охраны, рационального природопользования*. — ПГТУ, Йошкар-Ола, 2012. — С. 134–138.

16. *Gradov O. V.* Digital lab-on-a-chip as analog of soil chambers & Rossi-Cholodny slides // VII Int. Symp. CBAFFF (7-th Fr. Progr.). — 2012. — P. 17–18.

17. *Adamovic E.D., Aleksandrov P.L., Gradov O.V., Mamalyga L.M., Mamalyga M.L.* Correction of the recording artifacts and detection of the functional deviations in eeg by means of syndrome decoding with an automatic burst error correction of the cyclic codes using periodograms for determination of the code component spectral range. I.//*Cardiometry*. — 2015. — Vol. 6. — P. 65–76.

18. *Adamovic E.D., Aleksandrov P.L., Gradov O.V., Mamalyga L.M., Mamalyga M.L.* Correction of the recording artifacts and detection of the functional deviations in ecg by means of syndrome decoding with an automatic burst error correction of the cyclic codes using periodograms for determination of code component spectral range. II // *Cardiometry*. — 2016. — Vol. 8. — P. 39–46.

19. *Адамович Е. Д., Александров П. Л., Градов О. В., Мамалыга Л. М., Мамалыга М. Л.* Корректирование артефактов записи и обнаружение функциональных отклонений на ЭКГ методами синдромного декодирования с машинным исправлением пакетов ошибок циклических кодов при использовании периодограмм для поиска спектральных диапазонов компонент. II // *Кардиометрия*. — 2016. — № 8. — С. 40-49.

20. *Александров П. Л., Адамович Е. Д.* Опыт реставрации и реконструкции Плюримата для медико-биофизических приложений. Часть I. // *Биомедицинская инженерия и электроника*. — 2016. — № 1(12). — С. 42–97.

21. *Градов О. В.* Многофакторная патч-кламп-спектроскопия как метод характеристики сигнальных систем растений и источник комплементарных систематических дескрипторов для биохимической таксономии с привязкой к биогеографическим картам и феноспектральной ауксанометрии // *Сигнальные системы растений: от рецептора до ответной реакции организма*. — Издательство Санкт-Петербургского государственного университета СПб, 2016. — С. 79–81.