

А. В. КРАСНОСКУЛОВ*Ростовская государственная консерватория им. С. В. Рахманинова**г. Ростов-на-Дону, Россия**ORCID: 0000-0002-8468-8273, rostcons@yandex.ru*

Сонификация: как «звучит» ежедневная физическая активность?

Сонификация физической, в том числе ежедневной активности является интенсивно развивающейся областью научных исследований. Данный проект сконцентрирован на комплексном способе использования алгоритмической музыки с наличием сюжетной и композиционной структур – музификации. За основу берутся способы параметрической сонификации данных – наиболее широко используемой техники, преобразующей многомерное пространство данных в звук. Различные значения физической активности, полученные с помощью трекера активности Xiaomi Mi Band, в ходе изучения сонификации как практической и творческой области науки и искусства, позволили провести несколько экспериментов, ставящих целью озвучить данные фитнес-браслета таким образом, чтобы в пределах полученной музыкальной композиции отобразить ежедневную активность нескольких пользователей. В рамках исследования рассматривались разные способы преобразования значений фитнес-браслета в музыкальные параметры; ключевой целью являлось достижение баланса между понятным для слушателя отображением звуковой информации и музыкальной «привлекательностью» акустического результата. Были апробированы несколько вариантов параметрического мэппинга, трансформирующих четырёхмерное пространство значений трекера активности в многомерное пространство музыкальных параметров – от различных вариантов четырёхмерного до шестимерного. Последний подход в итоге оказался наиболее убедительным с точки зрения целей, поставленных в настоящем проекте.

Ключевые слова: сонификация, параметрический мэппинг, интерактивность, звуковое отображение информации.

Для цитирования: Красноскулов А. В. Сонификация: как «звучит» ежедневная физическая активность? // Проблемы музыкальной науки. 2019. № 2. С. 111–119.

DOI: 17674/1997-0854.2019.2.111-119.

ALEXEI V. KRASNOSKULOV*Rostov State S. V. Rachmaninoff Conservatory, Rostov-on-Don, Russia**ORCID: 0000-0002-8468-8273, rostcons@yandex.ru*

Sonification: How Everyday Physical Activity “Sounds”?

The sonification of physical activity, including the everyday variety, is an intensively developing sphere of scholarly research. The present project is concentrated on a complex way of using algorithmic music with the availability of the subject-wise and the compositional

structures – musification. The basis is comprised of means of parametric sonification of data – the most broadly used technique, transforming the multidimensional space of the data in sound. The various meanings of physical activities obtained with the use of the Xiaomi Mi Band activity during the process of studies of sonification as a practical and creative domain of science and art made it possible to carry out a few experiments carrying the aim of sounding out the data of the fitness bracelet in such a way as to depict the everyday activities of several users within the limits of the resulting musical composition. Various means of transformation of the meanings of the fitness bracelet into musical parameters were examined within the frameworks of this research work. Approbation was made of several variants of parametrical mappings transforming the four-dimensional space of the meanings of the tracker of activities into a multidimensional space of musical parameters – from the different variants of the four-dimensional to the six-dimensional. The latter approach turned out to be the most convincing from the perspective of the aims set forth in the present project.

Keywords: sonification, parametrical mapping, interactivity, sonar reflection of information.

For citation: Krasnoskulov Alexei V. Sonification: How Everyday Physical Activity “Sounds”? *Problemy muzykal'noj nauki/Music Scholarship*. 2019. No. 2, pp. 111–119. (In Russ.) DOI: 17674/1997-0854.2019.2.111-119.

Мы живём в эпоху данных: они окружают нас везде и непрерывно сопровождают в повседневной жизни. И хотя чаще восприятие данных происходит визуально, во многих случаях звуковая репрезентация предоставляет больше возможностей для их понимания, практического и творческого применения [9]. Сонификация, используя звук для восприятия, интерпретации и взаимодействия с разнородными незвуковыми данными, исходит из факта, что слухом мы оперируем для извлечения смыслового компонента и исследования свойств окружающих человека разнообразных событий и предметов. Сонификация может быть определена как подвид расширенной в части слухового компонента реальности, позволяющий выявить скрытую информацию через нахождение связей или ассоциаций (называемых «отображением» или «мэппингом») между пространством данных и векторами слуховой рецепции [1].

Сонификация движений спортсменов – активно развивающаяся область научных исследований. Наибольшее количество опытов озвучивания физической и ежедневной активности осуществляется через соотнесение сонифицируемых данных со звуковыми параметрами – так называемый параметрический мэппинг. К примеру, данные акселерометров, полученные от движений спортсменов в гольфе, карате или гребле, сопоставляются с высотой музыкального тона, в результате чего к атлету в реальном времени поступают сведения об уровне прилагаемых усилий. Данные сенсоров переносятся в пространство характеристик звука, что позволяет воспринимать слухом изменения в положении и ориентации спортивного инвентаря или снаряда (например, весла в гребле, клюшки в гольфе и т. п.), составить представление о темпе и требуемой в ряде видов спорта синхронности и ритмичности движений. С. Баррас, Н. Шафферт и

Т. Баррас [2] предлагают шесть способов параметрической сонификации данных, связанных с различной степенью физической активности, из которых с своим исследованием мы опираемся преимущественно на «музификацию» – комплексный способ использования алгоритмической музыки, включающий наличие сюжетной и композиционной структур.

В жизни современного человека отслеживание уровня физической активности реализуется чаще всего с помощью разного рода устройств «носимой» электроники, среди которых наибольшее распространение получили трекееры активности, называемые также фитнес-трекерами. Фитнес-трекер Mi Band создан компанией Xiaomi и был впервые показан 22 июля 2014 года. Устройство выглядит, как браслет, который удобнее всего носить на руке – так же, как наручные часы (хотя производитель допускает его ношение на лодыжке или шее). Улучшенная третья версия фитнес-трекера (Mi Band 3) была представлена 31 мая 2018 года. Поскольку эта модель (как, впрочем, и предшествующая вторая) снабжена ёмкостным экраном, отображающим различные параметры, в том числе текущее время, первый способ ношения фитнес-браслета является, надо полагать, преобладающим. Mi Band 3 лёгок, имеет защиту от воды и может функционировать без подзарядки несколько недель. Параметры физической активности регистрируются акселерометром и оптическим датчиком пульса.

Mi Band 3 всего лишь собирает данные об активности: количество шагов, интенсивность движений, значения пульса. Для обработки и просмотра статистики разработано фирменное приложение Mi Fit (доступно на смартфо-

нах на базе ОС Android и iOS), которое рассчитано на управление браслетом. С его помощью пользователь может просматривать уведомления, видеть входящие звонки, а также настроить формат отображения даты и времени, опции таймера/секундомера/будильника и т. д. Закрытость аппаратно-программной платформы браслета и структуры данных, которыми обмениваются Mi Band и Mi Fit, не даёт возможности применения устройства и приложения для различных, в том числе научных целей. Однако рядом независимых исследователей было создано несколько приложений с открытым исходным кодом, позволяющих обойти ограничения, установленные производителем устройства и программного обеспечения; наиболее популярное из них – Gadgetbridge¹ было задействовано в обсуждаемом проекте.

Ключевой в нашем случае является возможность экспортировать «сырые» данные фитнес-браслета из Gadgetbridge в формат СУБД SQLite 3. В дальнейшем эта информация преобразуется в формат XML для более удобной работы. В каждом блоке «сырых» данных содержится метка времени и несколько параметров в виде целочисленных значений: тип события (Kind), его интенсивность (Intensity), количество пройденных за минуту шагов (Steps) и усреднённое за минуту значение пульса (Pulse). События, определяемые браслетом – *ходьба*, *бег*, *сон* и т. д. – кодируются специфическим для каждого конкретного вида активности значением. Аппаратная платформа детально оценивает типы событий, исходя из показаний своих сенсоров. Например, браслет выделяет семь различных значений для *ходьбы*, шесть для *бега* – в зависимости от активности пользователя и частоты его

пульса, – и отличает ситуации, когда пользователь сидит, стоит, встаёт, садится, поднимается вверх, спускается вниз, а также когда браслет не надет на руку. Всего устройство различает около 25 типов поведения пользователя, а также моменты зарядки браслета и несколько триггеров активности (например, начало и окончание фазы сна).

Интенсивность сохраняется как 8-битное значение и, насколько можно судить, определяется амплитудой движений рук и тела, получаемых встроенным акселерометром. Бóльшей физической активности, характеризующейся, как правило, бóльшей амплитудой движений, присваиваются более высокие значения интенсивности. Фитнес-трекер подсчитывает также количество шагов, пройденных за минуту. Однако поскольку браслет, как уже отмечалось, чаще всего носится на руке, его прошивка иногда расценивает как шаги и простые активные взмахи руками (например, при дирижировании, игре на музыкальных инструментах). С учётом последнего факта, данный параметр следует рассматривать как совокупность шагов и общей активности пользователя. Пульс замеряется оптическим датчиком пульса по запросу, а в режимах «Упражнение» и «Бег» – непрерывно необходимое количество времени; полученные данные сохраняются как количество ударов сердца за минуту (BPM).

В рамках проекта было проведено несколько экспериментов с целью сонифицировать данные фитнес-браслета таким образом, чтобы в пределах одной музыкальной композиции отобразить ежедневную активность трёх пользователей – членов одной семьи, каждый из которых имеет фитнес-браслет Mi Band. Так как данные были получены синхронно в течение одного дня (с 9 утра

до 10 вечера), как основной метод сонификации фигурировала музификация. При этом отчётливо просматривалась композиционная структура, определяемая ритмом жизни человека, – по сути «зеркальная» форма с кульминацией в середине.

По ходу исследования применялись разные способы преобразований значений фитнес-браслета в музыкальные параметры: ключевой целью являлось достижение баланса между понятным для слушателя отображением звуковой информации и музыкальной «привлекательностью» акустического результата. Были апробированы несколько вариантов параметрического мэппинга, трансформирующих четырёхмерное пространство значений фитнес-браслета в многомерное пространство музыкальных параметров – от различных вариантов четырёхмерного (например, темп, громкость, звуковысотность, ритм) до шестимерного (тембр, темп, звуковысотность, громкость, ритм, вибрато). Последний подход в итоге показался наиболее убедительным с точки зрения целей проекта².

Б. Уокер и Г. Крамер считают, что высота звука (наряду с громкостью) может быть наилучшим выбором для сонификации вне зависимости от типов параметрически трансформируемых данных [10]. Проводилось несколько экспериментов параметрического мэппинга четырёх звуковых компонентов (высота, громкость, звуковая атака и темп) и четырёх видов данных (температура, давление, скорость и размер). Каждый тип данных сопоставлялся с каким-либо звуковым параметром, и результаты проведённых опытов показали, что звуковысотность – это наиболее подходящий параметр сонификации для большинства типов данных.

Акустические свойства помещения при этом не оказывают значительного влияния на восприятие высоты звука, что делает звуковысотность ещё более надёжным и устойчивым параметром сонификации. Значения звуковысотности в экспериментах проекта сопоставлялись (для достижения мелодического разнообразия) с линейно, а не скачкообразно изменяемыми данными: интенсивностью и пульсом. В результате выбор параметра, управляющего высотой звука, был сделан в пользу данных пульса, поскольку его значения изменяются наиболее плавно – в сторону и повышения, и понижения, что позволяло формировать мелодическую линию более естественно.

Попытки добиться в ходе экспериментов отчётливой сонификации без применения тембрового решения (например, в нескольких опытах тип события управлял только темпом) не показались убедительными. Без смены тембра определение слушателем текущего состояния физической активности становилось неясным, а итоговая композиция – музыкально «пресной». Очевидно, данная проблема с точки зрения отображения звуковой информации возникает также в силу того, что тип физической активности – одновременно категориальная и темпоральная информация. Тембр – это многомерная составляющая звука, на фундаментальном уровне описываемая временными и спектральными характеристиками. Некоторые исследователи утверждают, что применение звуков со сложным спектром улучшает их восприятие и делает их легче в использовании, нежели простые в спектральном плане синусоиды [4]. Тембр в наибольшей степени подходит для передачи категориальной информации и поэтому менее пригоден для работы с непрерывными

или временными данными [3]. Важное свойство тембра заключается также в том, что он позволяет слушателям различать звуки, которые имеют одинаковую высоту и громкость.

Для того, чтобы избежать чрезмерной тембровой пестроты, многочисленные типы событий были объединены в четыре группы, или базовые типы событий: *покой*, *ходьба*, *бег* и *сон*. Для каждого из них был подобран тембр, в той или иной степени ему соответствующий – приглушённый и спокойный для сна и постепенно увеличивающий энергетику в более активных событиях за счёт различных уровней добавленного шума, реверберации и компрессии. Поскольку длительность нот (событий) напрямую зависит от базового типа событий и может быть различной (от достаточно продолжительных «целых» и «половинных» в момент сна до весьма коротких «тридцатьвторых» и «шестнадцатых» при беге), с каждым базовым типом событий соотносится не один тембр, а четыре: для продолжительных звуков, длительностей средней продолжительности, коротких и очень коротких звуков. Звуки разной продолжительности отличаются, прежде всего, используемым уровнем реверберации (наименьший у самых коротких звуков) и звуковой атаки.

Время также является одной из ключевых характеристик слухового восприятия, особенно в звуковом контексте, поскольку акустическая информация не может восприниматься так же, как визуальная из-за развёртывания звука во времени. В этом состоит и сильная сторона сонификации, поскольку слух, как правило, более тонко настроен на временные характеристики, нежели зрение. Для каждого базового типа событий был уста-

новлен свой темповой коэффициент, соотносящийся с остальными кратно в отношении 2:1, при этом коэффициент *сна* был наименьший, а *бега* – наибольший, темп *покоя* был больше темпа *сна* в два раза, аналогично в два раза *ходьба* быстрее *покоя*, а *бег* – *ходьбы*. В итоге базовый тип события управлял тембром и темпом звучания каждого вида активности, что позволило более ясно отображать и текущую поведенческую модель пользователя (категориальная составляющая), и процесс ежедневной активности (темпоральная составляющая).

Ввиду присутствия в сонификации множества разнородных звуков, в том числе и полифонического многоголосия, ритмическая пульсация может улучшить акустическую прозрачность, так как наша слуховая система настроена на локализацию ритмических сигналов. Сначала определяется длина ритмической формулы – количество последований одного типа событий (например, *медленная ходьба*) в пределах от 1 до 4 значений в ряду. Соответственно этому обозначаются возможные ритмические группы, выбор среди которых происходит в зависимости от значений интенсивности (для первого события в группе). Каждой «ноте» в ритмической группе соответствует одно значение данных фитнес-трекера. Таким образом, длительность одного события рассчитывается, исходя из темпового коэффициента и продолжительности ритмической единицы. Кроме того, интенсивность как параметр звукового вибрата даёт возможность создавать с его помощью дополнительные ритмические структуры. Вибрато управляется интенсивностью: данные приводятся к величинам от 0 до 8, где значения меняются от 0 (нет вибрата) до 8 (8 раз в секунду); медленное

вибрато влияет на ритм и, отчасти, на тембр.

Локализация источников звука в пространстве является ещё одним параметром, которым можно манипулировать для целей сонификации, в особенности в связи с психоакустическим эффектом, позволяющим улучшить восприятие пространственно разнесённых звуков. До некоторой степени он базируется на бинауральных свойствах слуха, в том числе различиях отношения сигнал/шум в каждом ухе, когда источники звука разделены в горизонтальной плоскости [3]. При сонификации одновременно всех треков активности встаёт вопрос «прослушиваемости» каждой «партии», когда каждый из участников находится в своей части акустического стереофонического пространства: один справа, второй по центру, третий слева. В конечном счёте, это даёт чёткость каждой линии (акустическую прозрачность) в своеобразной трёхголосной полифонии.

Восприятие громкости является неотъемлемым атрибутом слуха. Оно прежде всего связано с уровнем звукового давления, получаемого от источника звука, но очевидна его зависимость и от других параметров, таких как спектр сигнала, сила и продолжительность воздействия. Хотя в качестве непрерывно изменяемого параметра громкость может использоваться для передачи информации, исследования в области психоакустики (в части взаимосвязи между звуковысотностью и громкостью) показывают, что одинаковое изменение громкости кажется бóльшим при повышении высоты звука, нежели при его понижении. В то же время Дж. Флауерс считает использование громкости необходимым для подчёркивания и выявления определённых контекстных событий в общем

звуковом потоке [6]. Громкость является весьма действенным параметром в определённых контекстах, но оперирование ею часто спорно, поскольку восприятие динамики в значительной степени зависит от акустических (в том числе частотных) характеристик звука и воспроизводящего оборудования [10].

В ходе исследования выявилось несколько проблем, которые ждут своего решения. Во-первых, отсутствие доступа к прошивке браслета препятствует получению информации от сенсоров устройства чаще, чем раз в минуту. По сути, для сонификации мы располагаем только своего рода «историческими» данными, слишком медленно изменяющимися для интерактивного взаимодействия. Во-вторых, включённые в эксперимент электронные звуки и тембры классических музыкальных инструментов недостаточно отчётливо репрезентируют участников. Возможно, применение вместо них «звуковых иконок» позволило бы лучше сонифицировать участников разных полов. Однако результат с опорой на сэмплы мужских и женских голосов в одном из опытов пока оказался неубедительным. В-третьих, в «дуэтах» и «трио» наблюдается некоторое расхождение во времени. Например, если тип базовых событий партнёров в одно и то же время разный и у кого-то преобладает более «активный» (например, один находится в фазе *сна*, а второй *бега*), то последний может «убегать» по времени. Вырав-

нивание же участников по времени – за счёт применения единого темпового коэффициента ко всем общим типам событий – приводит к заметной ритмической монотонности звучания.

Некоторые идеи ещё ждут своей реализации. А именно, можно было бы сопоставить для одного участника разные дни (например, прошлый и нынешний четверг), разные «тренировки», или послушать, чем звучание «рабочего дня» отличается от «выходного». Интересным представляется применить для пространственной локализации данные GPS (с помощью смартфонов, поскольку Mi Band не имеет своего GPS-модуля), например, панорамировать участников соответственно отдалённости друг от друга. С точки зрения музификации привлекательным будет охват большего количества разных тембров – не только для базовых типов событий, но и для всех типов событий по отдельности. Таким образом, для ходьбы может быть применён не один общий тембр, а семь различных: для медленной, нормальной, ходьбы вниз по склону и т. д.

Итоговая цель проекта состоит также и в том, чтобы через звучание музыки людям разных полов и возрастов дать представление об их каждодневной физической активности, восприятии дней, наполненных работой или посвящённых семье, как последовательности музыкальных событий. Работа над проектом продолжается.

ПРИМЕЧАНИЯ

¹ Gadgetbridge. URL: <https://github.com/Freeyourgadget/Gadgetbridge> (Дата обращения: 01.04.2019).

² С полученными результатами можно ознакомиться по адресу: <http://www.soundworlds.net/sonification>.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красноскулов А. В. Музыка и дополненная реальность: на пути к будущему // Южно-Российский музыкальный альманах. 2018. № 4. С. 80–86.
2. Barrass S., Schaffert N., Barrass T. Probing Preferences between Six Designs of Interactive Sonifications for Recreational Sports, Health and Fitness // *Proceedings of ISON 2010, 3rd Interactive Sonification Workshop*. 2010, pp. 23–29.
3. Beilharz K., Ferguson S., Song H. J., Cabrera D. An Interactive Approach For Teaching Information Sonification // *Proceedings of the 12th International Conference on Auditory Display*. 2006, pp. 164–171.
4. Brown L. M., Brewster S. A., Ramlohl R., Burton M., Riedel B. Design Guidelines for Audio Presentation of Graphs and Tables // *The 9th International Conference on Auditory Display*. 2003, pp. 284–287.
5. Dubus G. Interactive Sonification of Motion: Design, Implementation and Control of Expressive Auditory Feedback with Mobile Devices: Doctoral Thesis. KTH School of Computer Science and Communication. Stockholm, Sweden, 2013. 33 p.
6. Flowers J. H. Thirteen Years of Reflection on Auditory Graphing: Promises, Pitfalls, and Potential New Directions // *Proceedings of the First Symposium on Auditory Graphs*. 2005, pp. 406–409.
7. Neuhoﬀ J. G., Kramer G., Wayand J. Pitch and Loudness Interact in Auditory Displays: Can the Data Get Lost in the Map? // *Journal of Experimental Psychology*. 2002. Vol. 8. No. 1, pp. 17–25.
8. Schaffert N., Mattes K., Effenberg A. O. A Sound Design for the Purposes of Movement Optimisation in Elite Sport (Using the Example of Rowing) // *Proceedings of the 15th International Conference on Auditory Display*. 2009, pp. 72–75.
9. *The Sonification Handbook / Comp. by T. Hermann usw.* Berlin, Germany: Logos Publishing House, 2011. 586 p.
10. Walker B., Kramer G. Ecological Psychoacoustics and Auditory Displays: Hearing, Grouping, and Meaning Making // *Ecological Psychoacoustics*. 2004, pp. 150–175.

Об авторе:

Красноскулов Алексей Владимирович, кандидат искусствоведения, профессор кафедры специального фортепиано, профессор кафедры музыкальной звукорежиссуры и информационных технологий, Ростовская государственная консерватория им. С. В. Рахманинова (344002, г. Ростов-на-Дону, Россия),
ORCID: 0000-0002-8468-8273, rostcons@yandex.ru

REFERENCES

1. Krasnoskulov A. V. Muzyka i dopolnennaya realnost': na puti k budushchemu [Music and Reality: on the Path to the Future]. *Yuzhno-Rossiyskiy muzykal'nyy al'manakh* [South-Russian Musical Anthology]. 2018. No. 4, pp. 80–86.
2. Barrass S., Schaffert N., Barrass T. Probing Preferences between Six Designs of Interactive Sonifications for Recreational Sports, Health and Fitness. *Proceedings of ISON 2010, 3rd Interactive Sonification Workshop*. 2010, pp. 23–29.



3. Beilharz K., Ferguson S., Song H. J., Cabrera D. An Interactive Approach For Teaching Information Sonification. *Proceedings of the 12th International Conference on Auditory Display*. 2006, pp. 164–171.
4. Brown L. M., Brewster S. A., Ramloll R., Burton M., Riedel B. Design Guidelines for Audio Presentation of Graphs and Tables. *The 9th International Conference on Auditory Display*. 2003, pp. 284–287.
5. Dubus G. *Interactive Sonification of Motion: Design, Implementation and Control of Expressive Auditory Feedback with Mobile Devices: Doctoral Thesis*. KTH School of Computer Science and Communication. Stockholm, Sweden, 2013. 33 p.
6. Flowers J. H. Thirteen Years of Reflection on Auditory Graphing: Promises, Pitfalls, and Potential New Directions. *Proceedings of the First Symposium on Auditory Graphs*. 2005, pp. 406–409.
7. Neuhoff J. G., Kramer G., Wayand J. Pitch and Loudness Interact in Auditory Displays: Can the Data Get Lost in the Map? *Journal of Experimental Psychology*. 2002. Vol. 8. No. 1, pp. 17–25.
8. Schaffert N., Mattes K., Effenberg A. O. A Sound Design for the Purposes of Movement Optimisation in Elite Sport (Using the Example of Rowing). *Proceedings of the 15th International Conference on Auditory Display*. 2009, pp. 72–75.
9. *The Sonification Handbook*. Comp. by T. Hermann usw. Berlin, Germany: Logos Publishing House, 2011. 586 p.
10. Walker B., Kramer G. Ecological Psychoacoustics and Auditory Displays: Hearing, Grouping, and Meaning Making. *Ecological Psychoacoustics*. 2004, pp. 150–175.

About the author:

Alexei V. Krasnoskulov, Ph.D., Professor at the Department of Special Piano, Professor at the Department of Sound Engineering and Information Technologies, Rostov State S. V. Rachmaninoff Conservatory (344002, Rostov-on-Don, Russia),
ORCID: 0000-0002-8468-8273, rostcons@yandex.ru

