

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ СНИФИКАЦИИ В ЗАДАЧАХ КЛАССИФИКАЦИИ НАНОТРУБОК

А.К. Тютин
В.В. Казаков
В.А. Верстов

crazy4@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрены основные методы представления звуковой информации, выявлены их достоинства и недостатки. Приведены примеры использования методов сонификации в работе с нанотрубками. Представлены техники сонификации

Ключевые слова

Сонификация, многомодальное представление информации, нанотехнологии, нанотрубки

Поступила в редакцию 01.12.2016

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

Уникальные электронные и механические свойства углеродных нанотрубок открывают широкие возможности для их применения в нанoeлектронике и наномеханике. Предложено использовать нанотрубки в устройствах нанометрового размера: диоде, транзисторе, элементарной ячейке памяти, нанопинцете, а также в качестве иглы атомно-силового микроскопа. Теоретически рассмотрен ряд наноустройств, использующих относительное движение слоев нанотрубок: наноподшипник, наношестерня, нанопружина, механический нановыключатель, электрический нановыключатель и нанодрель [1]. В работах [2–4] представлены подходы к моделированию различных наноустройств.

Для предоставления информации о нанотрубках традиционно используют электронные микроскопы. Однако, объем информации в виде изображений, графиков и численных значений все время увеличивается, что затрудняет его обработку человеком [5]. В работах [6–10] предложено применение многомодального представления информации в наноинженерии. Переход к многомодальному представлению информации поможет преодолеть эти трудности.

В работах [11, 12] показаны преимущества использования когнитивной графики при представлении информации о транспортных свойствах углеродных нанотрубок. Однако в этих работах использован только визуальный канал информации.

В данной статье приведены краткое описание и сравнение методов представления информации в форме звука, обоснован выбор подходящего метода классификации нанотрубок.

Звуковые интерфейсы. Для обеспечения взаимодействия пользователя с информационной системой используют звуковые интерфейсы. Рассмотрим их различные функции [13].

Функция предупреждения. В данном случае звук показывает, что какое-либо событие произошло или вот-вот произойдет. Звуки для таких функций выбирают четкие и простые. Передаваемые таким образом сообщения малоинформативны. Например, дверной звонок сигнализирует о том, что кто-то пришел, но не несет никакой информации о том, кто пришел и с какой целью. Применительно к нанотрубкам предупреждающие сигналы могут использоваться для оповещения оператора. Например, в массиве контролируемых образцов обнаружена нанотрубка неправильной структуры. Однако информации о характере дефекта не будет.

Преимуществом сонификации в данном случае перед визуальным представлением является то обстоятельство, что оператору не нужно непосредственно наблюдать за каждой установкой: возле рабочего места может находиться десяток установок контроля, каждая может обладать индивидуальным звуковым сигналом, информирующем о дефекте. Таким образом, повышается производительность, а оператор одновременно может выполнять другую работу.

Информативность сигнала можно повысить, используя звуковые коды, то есть применяя различные звуковые сигналы при обнаружении различных дефектов.

Функция отслеживания состояния процессов. Некоторые задачи требуют предоставления информации о состоянии процесса в текущий момент и о закономерностях изменения во времени. В этом случае используют способность человека распознавать малые изменения в звуке. Так, неопытный человек может услышать, что с двигателем что-то не в порядке. Опытный же механик может по звуку даже определить возможную неисправность. Таким образом, «натренировавшись» в какой-либо области на конкретных примерах (использование стетоскопа врачом), человек сможет характеризовать и классифицировать получаемую информацию. Применительно к нанотрубкам сигналы мониторинга могут быть использованы для более детального изучения образцов.

Функция обнаружения информации. Именно функцию обнаружения информации имеют в виду, когда говорят о сонификации [13]. Для обеспечения этой функции обрабатывают большие объемы данных с целью предоставления более целостной картины процесса, в отличие от звуковых систем мониторинга процессов и предупреждения. Типовыми моделями сонификации в данном случае являются звуковые графы и сонификация на основе моделей.

Однако в задачах наноинженерии входной информации в виде графиков и таблиц, которые взаимосвязаны между собой, может оказаться слишком много для одновременного анализа человеком. Эту проблему можно решить путем применения сонификации, которая использует высокоразвитый слух человека. Варианты обработки информации представлены на рис. 1. Функции, которые выполняют звуковые интерфейсы, обозначены в таблице.

Карта параметров (parameter mapping). Сонификация происходит путем отображения изменения величины входных данных в виде изменения параметров звука. Поскольку у звука изменяемых параметров может быть несколько, это увеличивает число измерений, которыми можно оперировать [13].

Сравнение функций звуковых дисплеев

Название функции	Преимущества	Недостатки
Предупреждение	Одновременная работа с массивом однотипных источников сигналов, простота звукового кодирования	Малая информативность сигнала
Отслеживание состояния процессов	Детальное изучение процесса/образца, высокая информативность сигнала, относительная простота звукового кодирования	Наблюдение только за одним источником
Обнаружение информации	Работа с большими массивами различных данных, получение новых знаний на основании услышанных зависимостей и шаблонов	Сложность звукового кодирования

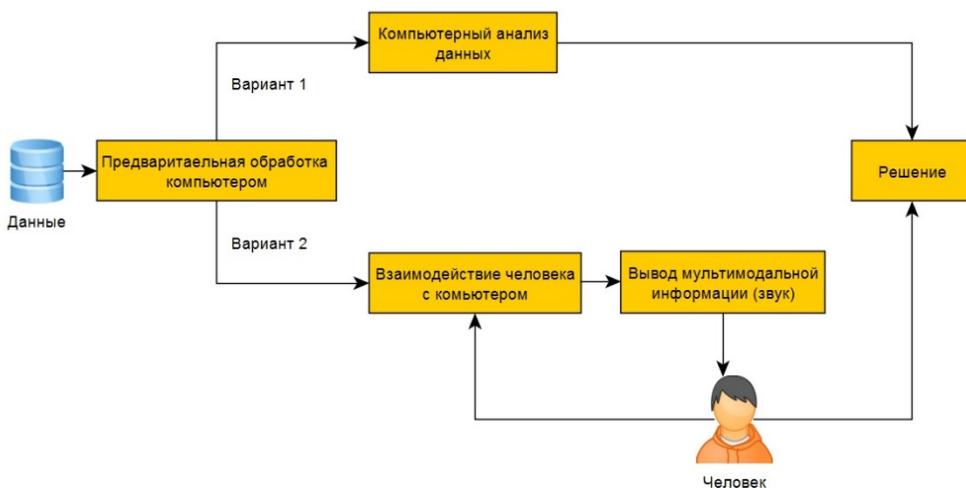


Рис. 1. Варианты обработки информации

Основные техники сонификации. Далее рассмотрим различные техники сонификации.

На рис. 2 показан процесс сонификации с помощью карт параметров. Эффективная сонификация включает в себя перевод свойств данных (слева) в параметры синтеза звука (справа). Процесс разделен на численные значения данных (желтые) и звуковые свойства (оттенки синего). Поскольку к сонификации относят прослушивание и размышление, процесс имеет некоторую долю субъективности [13].

Для успешного применения обозначенной техники необходимо сначала определить параметры данных, с которыми будет работать пользователь. Например, если исходными данными будет являться непрерывный график какой-либо функции $f(x)$, то наиболее простым и, возможно, наиболее эффективным методом представления будет непрерывный звуковой сигнал, частота или амплитуда которого изменяется по такому же закону, но уже в зависимо-

сти от времени, то есть $f(t)$. Однако, для сонификации стохастических данных такой метод не удобен. Более подходящим в таком случае будет сопоставление каждой точки отдельного звукового сигнала. В таком подходе возможно применение преобразования Фурье [14].

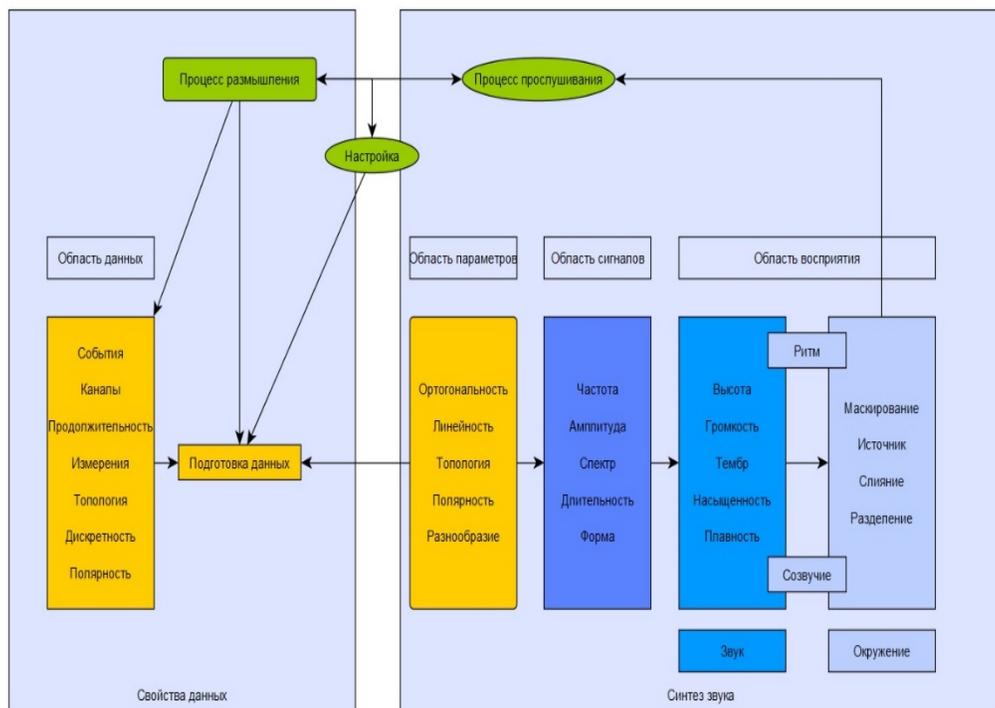


Рис. 2. Процесс сонификации с помощью карт параметров

Использование данного вида сонификации увеличивает эффективность анализа многомерных данных, однако нет никакой обратной связи с пользователем, что затрудняет распознавание закономерностей в представляемой информации.

Сонификация на моделях (Model-Based Sonification). Разработчик строит виртуальную модель, звуковая реакция которой зависит от действий, произведенных пользователем. Таким образом, виртуальная модель является инструментом, с которым пользователь может взаимодействовать. Пользователь приходит к пониманию структуры данных, основываясь на акустической реакции модели во время взаимодействия с объектом. Такой подход вовлекает массивы данных с большим числом точек и возможных измерений. На рис. 3 изображена эта техника сонификации.

В данном случае используют два класса звуков [13]:

- пассивные, то есть звуки, которые исходят от внешнего источника и не зависят напрямую от активности пользователя;
- активные, вызванные непосредственно действиями пользователя.

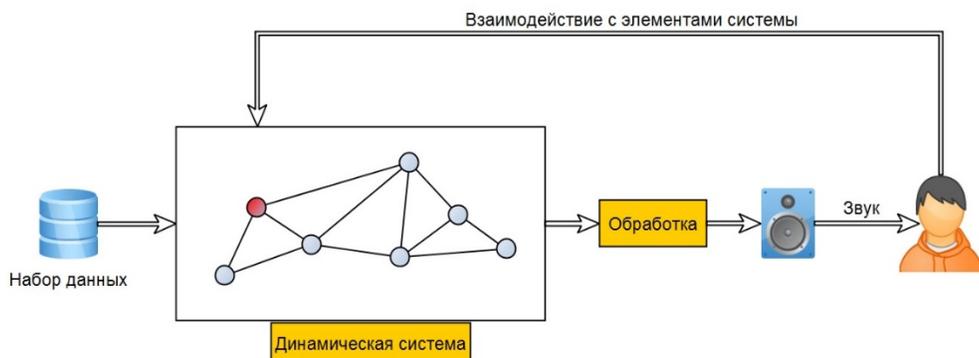


Рис. 3. Графическое представление сонификации на моделях

Построенные на таком принципе системы помогают в задачах обучения, навигации, получения знаний на основе большого объема данных. Для правильной работы такие системы должны обладать следующими свойствами.

1. Повсеместность: любое взаимодействие с данными должно сопровождаться звуком.

2. Инвариантность: законы создания звуков должны быть инвариантны и структурно не зависеть от данных.

3. Моментальность: система должна отвечать на взаимодействия в реальном времени.

4. Вариативность: создание звуков должно зависеть от типа и параметров взаимодействия с данными.

5. Информативность: построенная звуковая система не должна быть тривиальной. Каждое взаимодействие с системой должно вызывать богатый и сложный звук, который можно распознавать на нескольких уровнях.

Представление информации в виде звука открывает возможности для анализа больших объемов данных и решения проблем, возникающих в нанотехнологии. Рассмотренные методы и подходы позволяют решать широкий спектр задач в нанотехнологии: от сигнализации обнаружения дефекта до трехмерного зондирования и анализа нанотрубок. Для задачи классификации целесообразно применять технику карт параметров. Сонификация на моделях подходит для интерактивного изучения и выявления особенностей структур.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ 15-29-01115 офи-м.

Литература

1. Лозовик Ю.Е., Попов А.М., Беликов А.В. Классификация двухслойных нанотрубок с соизмеримыми структурами слоев // Физика твердого тела. 2003. Т. 45. № 7. С. 1333–1339. URL: <http://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/4705>
2. Shakhnov V.A., Zinchenko L.A., Rezchikova E.V. Modeling and simulation of nanoelectronics devices in cognitive nanoinformatics // Proc. of SPIE. 2014. Vol. 9440. No. 944018.

URL: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=2086504&resultClick=1>
DOI: 10.1117/12.2179168

3. *Shakhnov V.A., Zinchenko L.A., Rezchikova E.V.* Simulation and visualization in cognitive nanoinformatics // *Int. Journal of Mathematics and Computers in Simulation*. 2014. Vol. 8. No. 1. P. 141–147. URL: <http://www.naun.org/main/NAUN/mcs/2014/a242002-197.pdf>
4. *Shakhnov V., Zinchenko L., Rezchikova E.* Simulation of nanoelectronics devices in cognitive nanoinformatics // *Proc. Micro- and Nanoelectronics. ICMNE-2014. Book of abstracts*. 2014.
5. *Shakhnov V., Zinchenko L., Rezchikova E., Kosolapov I.* Information representation and processing in cognitive nanoinformatics // *Proc. 5th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*. 2014. P. 43–47.
6. *Шахнов В.А., Зинченко Л.А.* Нанотехнологическая информатика — направление развития информационных технологий // *Информационные технологии и вычислительные системы*. 2012. № 3. С. 55–65. URL: http://www.jitcs.ru/images/documents/2012-03/55_65.pdf
7. *Шахнов В.А., Зинченко Л.А.* Информационные технологии в наноинженерии // *Наноинженерия*. 2014. № 2 (32). С. 29–35.
8. *Зинченко Л.А., Власов А.И., Шахнов В.А., Резникова Е.В.* Наноинженерия и инфокоммуникационные технологии // *Вестник Российского фонда фундаментальных исследований*. 2015. № 3 (87). С. 97–103. URL: http://www.rfbr.ru/rffi/ru/bulletin/o_1942971#97
9. *Представление знаний в информационных системах с учетом свойств наноразмерных объектов и материалов / В.А. Шахнов, А.Е. Аверьянихин, А.И. Власов, Л.В. Журавлева, Л.А. Зинченко // Информационные технологии и вычислительные системы*. 2014. № 3. С. 89–96. URL: http://www.jitcs.ru/images/documents/2014-03/89_96.pdf
10. *Аверьянихин А.Е., Зинченко Л.А., Шахнов В.А.* Представление знаний о наноразмерных объектах в информационных системах // *Вопросы современной науки и практики*. Университет им. В.И. Вернадского. 2014. № 52. С. 8–11.
11. *Применение когнитивных инфокоммуникационных технологий при исследовании транспортных свойств углеродных нанотрубок / В.А. Шахнов, Л.А. Зинченко, Е.В. Резчикова, В.А. Верстов, В.В. Макаrchук, Б.С. Сорокин, В.В. Казаков // Проектирование и технология электронных средств*. 2016. № 1. С. 8–13.
12. *Kazakov V., Verstov V., Zinchenko L., Makarchuk V.* Visual analytics support for carbon nanotube design automation // *Biologically Inspired Cognitive Architectures (BICA) for Young Scientists. Ser. Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2016. Vol. 449. P. 71–78.
13. *Hermann T., Hunt A., Neuhoff J.G., ed.s.* The sonification handbook. Logos Verlag, Berlin, Germany, 2011. 586 p.
14. *Щелбанин А.В., Зинченко Л.А.* Алгоритмы преобразования Фурье и их применение при анализе звуковой информации // *Молодой ученый*. 2016. № 20-2 (124). С. 29–34. URL: <http://moluch.ru/archive/124/34105/>

Тютин Алексей Константинович — студент кафедры «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Казаков Вадим Вячеславович — студент кафедры «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Верстов Владимир Александрович — студент кафедры «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Л.А. Зинченко, д-р техн. наук, профессор кафедры «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

APPLICABILITY OF SONIFICATION METHODS IN NANOTUBE CLASSIFICATION PROBLEMS

A.K. Tyutin
V.V. Kazakov
V.A. Verstov

crazy4@mail.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The work deals with the basic methods of representing audio information, it identifies their strengths and weaknesses. We give examples of using sonification methods in work with nanotubes and briefly consider sonification techniques

Keywords

Sonification, multimodal presentation of information, nanotechnology, nanotubes

© Bauman Moscow State Technical University, 2017

References

- [1] Lozovik Yu.E., Popov A.M., Belikov A.V. Classification of two-shell nanotubes with commensurate structures of shells. *Fizika tverdogo tela*, 2003, vol. 45, no. 7, pp. 1333–1339. URL: <http://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/4705> (in Russ.). (Eng. version of journal: *Physics of the Solid State*, 2003, vol. 45, no. 7, pp. 1396–1402. URL: <https://link.springer.com/article/10.1134/1.1594261> DOI: 10.1134/1.1594261)
- [2] Shakhnov V.A., Zinchenko L.A., Rezchikova E.V. Modeling and simulation of nanoelectronics devices in cognitive nanoinformatics. *Proc. of SPIE*, 2014, vol. 9440, no. 944018. URL: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=2086504&resultClick=1> DOI: 10.1117/12.2179168
- [3] Shakhnov V.A., Zinchenko L.A., Rezchikova E.V. Simulation and visualization in cognitive nanoinformatics. *Int. Journal of Mathematics and Computers in Simulation*, 2014, vol. 8, no. 1, pp. 141–147. URL: <http://www.naun.org/main/NAUN/mcs/2014/a242002-197.pdf>
- [4] Shakhnov V., Zinchenko L., Rezchikova E. Simulation of nanoelectronics devices in cognitive nanoinformatics. *Proc. Micro- and Nanoelectronics. ICMNE-2014. Book of abstracts*, 2014.
- [5] Shakhnov V., Zinchenko L., Rezchikova E., Kosolapov I. Information representation and processing in cognitive nanoinformatics. *Proc. 5th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*, 2014, pp. 43–47.
- [6] Shakhnov V.A., Zinchenko L.A. Nanoinformatics: direction of development of information technologies. *Informatsionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy*, 2012, no. 3, pp. 55–65. URL: http://www.jitcs.ru/images/documents/2012-03/55_65.pdf (in Russ.).
- [7] Shakhnov V.A., Zinchenko L.A. Information technologies in nanoengineering. *Nanoinzheneriya [Nano Engineering]*, 2014, no. 2 (32), pp. 29–35 (in Russ.).
- [8] Zinchenko L.A., Vlasov A.I., Shakhnov V.A., Reznikova E.V. Nanoengineering and information communication technology. *Vestnik Rossiyskogo fonda fundamental'nykh issledovaniy*, 2015, no. 3 (87), pp. 97–103. URL: http://www.rfbr.ru/rffi/ru/bulletin/o_1942971#97 (in Russ.).
- [9] Shakhnov V.A., Aver'yaniukhin A.E., Vlasov A.I., Zhuravleva L.V., Zinchenko L.A. Nanotechnology knowledge representation in information systems taking into account nano-objects

- and materials properties. *Informatsionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy*, 2014, no. 3, pp. 89–96. URL: http://www.jitcs.ru/images/documents/2014-03/89_96.pdf (in Russ.).
- [10] Aver'yaniukhin A.E., Zinchenko L.A., Shakhnov V.A. Nanotechnology knowledge representation in information systems. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo* [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University], 2014, no. 52, pp. 8–11 (in Russ.).
- [11] Shakhnov V.A., Zinchenko L.A., Rezhikova E.V., Verstov V.A., Makarchuk V.V., Sorokin B.S., Kazakov V.V. Application of cognitive infocommunication technologies for research of transport properties of carbon nanotubes. *Proektirovanie i tekhnologiya elektronnykh sredstv* [Design and technology of electronic means], 2016, no. 1, pp. 8–13 (in Russ.).
- [12] Kazakov V., Verstov V., Zinchenko L., Makarchuk V. Visual analytics support for carbon nanotube design automation. In: *Biologically Inspired Cognitive Architectures (BICA) for Young Scientists*. Ser. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2016, vol. 449. Pp. 71–78.
- [13] Hermann T., Hunt A., Neuhoﬀ J.G., eds. *The sonification handbook*. Logos Verlag, Berlin, Germany, 2011. 586 p.
- [14] Shchelbanin A.V., Zinchenko L.A. Fourier transform algorithms and their application in audio information analysis. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], 2016, no. 20-2 (124), pp. 29–34. URL: <http://moluch.ru/archive/124/34105/>

Tyutin A.K. — student of the Department of Design and Technology of Electronic Equipment Manufacturing, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Kazakov V.V. — student of the Department of Design and Technology of Electronic Equipment Manufacturing, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Verstov V.A. — student of the Department of Design and Technology of Electronic Equipment Manufacturing, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — L.A. Zinchenko, Dr. Sc. (Eng.), Professor of Design and Technology of Electronic Equipment Manufacturing, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.