

DOI: 10.18372/2310-5461.42.13749

UDC 681.5.013 (045)

A. V. Vishnevsky, PhD, associate professor
National aviation university
orcid.org/0000-0002-0510-7283
e-mail: av@nau.edu.ua

AUTOMATED MUSIC COMPOSING WITH NORMAL RANDOM NUMBERS DISTRIBUTION AS “INFORMATIONAL DNA” SEQUENCING

Introduction

The human genome, which is nothing else as a complete set of deoxyribonucleic acid (DNA), has been made of two twisting paired strands. It consists of four nucleotide bases — adenine (A), thymine (T), guanine (G) and cytosine (C). There are approximately 3 billion of the base pairs in it.

On the other hand, a chromatic musical scale consists of twelve pitches, forming a 12-tone equal temperament, which is today a most often used temperament in Western music.

Then why not interpret these 12 tones sequence as a sort of “informational DNA nucleotides” sequence? It’s a comparatively novel approach, that can theoretically and practically widen the pre-set boundaries of music perception and help to a composer to compose a more cognitive, consciousness-oriented music. But how actually to do it?

Problem statement

For obtaining a further development of automated music composition algorithms it is a good idea to improve the functionality of a specialized biotechnical control system (BACS) designed to create monophonic and polyphonic sound series on the basis of a stochastic signal. The practical need for this research consists in the use of synthesized sound series for musical or musical-therapeutic effects on an object of such an impact.

The paper’s objective

It consists of creating and improving a biotechnical instrument for impact on a human brain (air traffic controller, pilot, cosmonaut, etc.), and more precisely the impact on cognitive functions of the brain, such as attention, memory, perception — to increase human’s general performance, endurance, psychological, emotional balance and a more harmonized and effective interaction with the environment as a whole.

Research and publications analysis

The inspiration for the paper is a fundamental book [1]. The author’s point of view on the theory of the topic being investigated is given in [2]. The mathematics of fractional derivatives, which is used

to construct the transfer function of the corresponding neural scheme of the BAMS “electronic composer”, is presented in [3]. Finally, the synthesis of musical stochastic sequences with uniform distribution is considered in [4-10].

Biotechnical automated control system for music composing

This automated control system many years ago was primarily given in [1], then after 40 years theoretically and after 50 years practically developed correspondingly in [2] and [4–10]. It can help the composer to create his music with considerably higher degree of freedom, and because of it to pay more attention to the idea of musical composition rather than only doing monotonous, routine work of writing out the scores by hand. The quality of composed music can be good if the software is being used properly. The main structural scheme of BACS “Aquarius” is presented in Fig. 1.

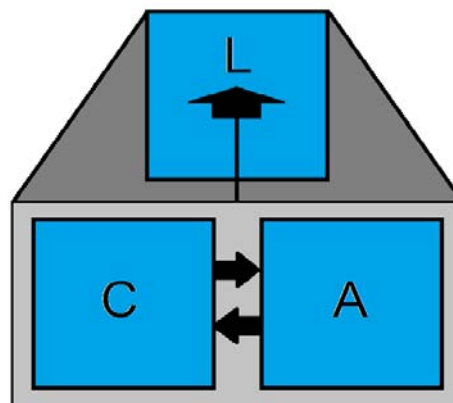


Fig. 1. Biotechnical control system

Here the “building blocks” correspondingly are: *A* — neural network based software “*Aquarius*”; *C* — a human composer himself; *L* — a listener, or a patient of music therapy impact. All the three structural elements are inseparable, *C* and *A* create mutual dependence between themselves since they interact all the time in the process of musical composition. They also impact the *L* element, because this element is undoubtedly the BACS’ principal object of direct influence.

The neural scheme of the current working version of electronic composer “Aquarius” has been already presented in [7; 10], and this is why it will not be re-stated here.

It is important to note a Caputo fractional derivatives equation numerical solution for the transfer function of the BACS neural scheme developed. It helps to compose music more flexibly when talking about the pitch. The equation (1) solution was got with software *Mathematica*.

The transfer function meant above is the solution of equation in fractional derivatives:

$${}_0^C D_x^\beta y(x) + a(x)y(x) = f(x); \quad (1)$$

$$y(0) = y_0, \quad 0 \leq x < X, \quad 0 < \beta < 1,$$

where

$${}_0^C D_x^\beta y(x) = \frac{1}{\Gamma(n-\beta)} \int_0^x (x-\tau)^{n-\beta-1} \frac{\partial y^n(\tau)}{\partial \tau^n}, \quad n-1 < \beta < n;$$

$$\Gamma(n-\beta) = \int_0^\infty e^{-t} t^{n-\beta-1} dt, \quad \text{Re}(n-\beta) > 0, \quad y(x) \text{ —}$$

target musical signal.

In Fig. 2 has been shown the exact (solid line) and numerical (step line) solution of the equation (1).

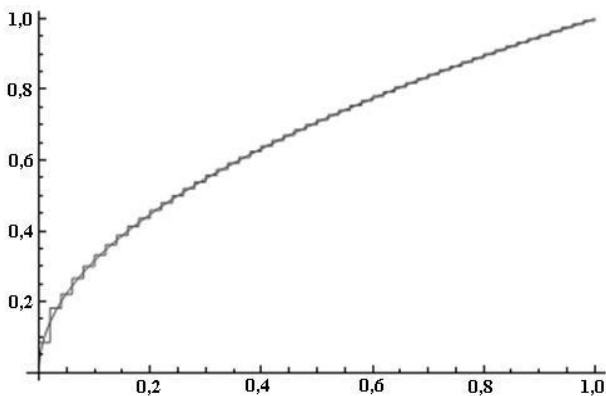


Fig. 2. The transfer function

Random signal creation

The random musical signal has been composed with the help of standard **rand()** and **srand()** C++ functions. The working fragment of the code is presented below. It deals with classes *lw* and *dw* responsible for composing diatonic and chromatic music correspondingly.

```
int random (int n)
{
    // with of without transfer function tr_fn
    int res; res=(int)( n*tr_fn*/((double)rand()/
    RAND_MAX )); return res;
}
```

```
...
lw_16(8); srand(50);
dw_16(4); srand(500);
...
```

1. Normal distribution

(std::normal_distribution)

In the BACS “Aquarius” only uniformly distributed random numbers have been used to this day. But in order to improve performance, to widen the opportunities for choosing the needed tools for a musical composition, it is possible, of course, to introduce different distributions, such as normal, Poisson, exponential, Weibull, lognormal, discrete, piecewise constant, piecewise linear etc [11]. The adapted for targeted use versions of some of the corresponding codes have been included below.

The c++ code for normal distribution allows to generate random numbers, controlled by two main parameters – mean and standard deviation.

```
int main()
{
    std::random_device rd{};
    std::mt19937 gen{rd()};

    std::normal_distribution<> d{5,2};

    std::map<int, int> hist{};
    for(int n=0; n<10000; ++n) {
        ++hist[std::round(d(gen))];
    }
    for(auto music : hist) {
        std::cout << std::setw(2)
            << music.first << ' ' <<
std::string(music.second/200, '*') << '\n';
    }
}
```

2. Poisson distribution

(std::poisson_distribution)

```
int main()
{
    std::random_device rd;
    std::mt19937 gen(rd());

    std::poisson_distribution<> d(4);

    std::map<int, int> hist;
    for(int n=0; n<10000; ++n) {
        ++hist[d(gen)];
    }
    for(auto music : hist) {
        std::cout << music.first <<
            ' ' <<
std::string(music.second/100, '*') << '\n';
    }
}
```

3. Exponential distribution

```
(std::poisson_distribution)
int main()
{
    std::random_device rd;
    std::mt19937 gen(rd());

    std::exponential_distribution<>
d(1);
    std::map<int, int> hist;
    for(int n=0; n<10000; ++n) {
        ++hist[2*d(gen)]; }
    for(auto music : hist) {
        std::cout << std::fixed <<
std::setprecision(1)
        << music.first/2.0 << '-'
<< (p.first+1)/2.0 <<
        ' ' <<
std::string(music.second/200, '*') << '\n';
    }}
}
```

4. Weibull distribution

```
(std::weibull_distribution)
int main()
{
    std::random_device rd;
    std::mt19937 gen(rd());

    std::weibull_distribution<> d;

    std::map<int, int> hist;
    for(int n=0; n<10000; ++n) {
        ++hist[std::round(d(gen))];
    }
    for(auto music : hist) {
        std::cout << std::fixed <<
std::setprecision(1) << std::setw(2)
        << music.first << ' ' <<
std::string(music.second/200, '*') << '\n';
    }}
}
```

5. Lognormal distribution

```
(std::lognormal_distribution)
int main()
{
    std::random_device rd;
    std::mt19937 gen(rd());
    std::lognormal_distribution<> d(1.6,
0.25);
    std::map<int, int> hist;
    for(int n=0; n<10000; ++n) {
        ++hist[std::round(d(gen))];
    }
    for(auto music : hist) {
        std::cout << std::fixed <<
std::setprecision(1) << std::setw(2)
        << music.first << ' ' <<
std::string(music.second/200, '*') << '\n';
    }}
}
```

6. Discrete distribution

```
(std::discrete_distribution)
int main()
{
    std::random_device rd;
    std::mt19937 gen(rd());
```

```
std::discrete_distribution<> d({40, 10,
10, 40});
    std::map<int, int> m;
    for(int n=0; n<10000; ++n) {
        ++m[d(gen)];
    }
    for(auto music : m) {
        std::cout << music.first << "
generated " << music.second << " times\n";
    }}
}
```

7. Piecewise constant distribution

```
(std::piecewise_constant_dist
ribution)
int main()
{
    std::random_device rd;
    std::mt19937 gen(rd());

    std::vector<double> i{0, 1, 10, 15};
    std::vector<double> w{ 1, 0, 1};
    std::piecewise_constant_distribution<>
d(i.begin(), i.end(), w.begin());
    std::map<int, int> hist;
    for(int n=0; n<10000; ++n) {
        ++hist[d(gen)];
    }
    for(auto music : hist) {
        std::cout << music.first << ' ' <<
std::string(music.second/100, '*') << '\n';
    }
}
```

It is possible as well to code many other custom random numbers distributions for the aim proposed. Also, their usage can be quite different, because their role can (and should) be different in producing the musical influence on the human brain. So, specific codes will be run for specific cases when dealing with a musical performance.

Sample results

In Fig. 3 the fragment of music created with help the BACS is shown. The beginning and the ending of the scores only is presented for simplification of perceiving the idea rather than reading actual full-sized scores. It's musical analysis and the elements of synthesis were highlighted in [10].

It seems to be important to say, that tacts 1-3 and 64 of the musical piece have been composed by hand when tacts 4-64 – with help of music composing software “*Aquarius*”, based on the mathematical algorithms developed for a corresponding BACS. In Fig. 4 it's shown a uniform distribution based music, which was presented in all the author's publications existing to this day.

In Fig. 5 it's shown a normal distribution based music, that sounds in a totally different manner. It also looks different, in a more “compressed” notation vertically. The corresponding impact of this music on a human's brain can be different, too (this question should be studied in another research).

Silver Bullet. Intro

The musical score is for a piano introduction in 4/4 time, marked with a tempo of quarter note = 50. It is written in G major (one sharp) and consists of 63 measures. The score is divided into four systems. The first system (measures 1-3) begins with a piano (*f*) dynamic. The second system (measures 4-5) features a complex rhythmic pattern with sixteenth notes in the right hand and eighth notes in the left hand. The third system (measures 6-8) continues the rhythmic pattern. The fourth system (measures 9-11) concludes with a piano (*p*) dynamic and a 'Fine' marking. The score includes various musical notations such as rests, beams, and dynamic markings.

Fig. 3. BACS music sample



Fig. 4. BACS uniform distribution random music sample



Fig. 5. BACS normal distribution random music sample

Conclusion

Automated music creation remains a problem, that still needs its strategic, functional and practical development. Interpreting music as “informational

DNA” helps a composer to better understand its inner structure and, as a result, to create more cognitive, consciousness-oriented music.

From Fig. 3,5 it can become very clear, that a concept of BACS as a sort of “informational DNA”

sequencer, which is both theoretical and practical development of the idea outlined in [4], can help a composer to create the original contemporary classical music. In addition, the listener will have a happy chance to hear it, too.

REFERENCES

1. Глушков В. М. Введение в кибернетику: монография. Киев: Изд-во Академии наук УССР, 1964. 324 с.
2. Вишнівський О. В. Елементи теорії образів. *Авіа-2002* : матеріали IV міжнародної наук.-техн. конф. (23-25 квітня 2002 р., Київ). Київ, 2002. Т.1. С. 13.119–С.13.122.
3. Васильев В. В., Симак Л. А. Дробное исчисление и аппроксимационные методы в моделировании динамических систем: научное издание. Киев: НАН Украины, 2008. 256 с.
4. Vishnevsky A. V. Automated music composing as informational DNA sequencing. A.V.Vishnevsky, National Aviation University, Ukraine. Proceedings of the Fourteenth International Scientific Conference AVIA-2019, Kyiv, April 23–25, 2019. P. 1–3.
5. Vishnevsky A. V. Advanced Approach to Usage of an Electronic Composer: Proceedings of the 8-th world congress [«Aviation in the XXI-st century». «Safety in aviation and space technologies»], (Kyiv (Ukraine), October 10-12, 2018) / М-во освіти і науки України, Національний авіаційний університет. К. : НАУ, 2018. Т.3. С. 4.1.6 – 4.1.8.
6. Вишнівський О. В. Синтезатор звукового ряду на основі випадкового процесу. *Електроніка та системи управління*. 2011. №4 (30). С. 31–36.
7. Vishnevsky A. V. The neural scheme of an electronic composer. *Електроніка та системи управління*. 2013. №1 (35). С. 107–110.
8. Vishnevsky A.V. Self-basis operator and orthogonal stocastic basis application for information processing. *Електроніка та системи управління*. 2011. №2 (28). С. 16–20.
9. Вишнівський О. В. Застосування комплексного підходу у використанні електронного композитора. *Наукоємні технології*. 2019. Т. 41. №1. С. 23–29.
10. Pseudo-random number generation. URL: <https://en.cppreference.com/w/cpp/numeric/random> (access date 23.03.2019).

Вишнівський О. В.

АВТОМАТИЗОВАНА КОМПОЗИЦІЯ МУЗИКИ З НОРМАЛЬНИМ РОЗПОДІЛОМ ВИПАДКОВИХ ЧИСЕЛ ЯК СЕКВЕНСУВАННЯ «ІНФОРМАЦІЙНОЇ ДНК»

У геномі людини приблизно 3 мільярди пар основ, повний набір дезокси-рибонуклеїнової кислоти (ДНК), що складається з двох скручених парних ланцюжків, складається з чотирьох нуклеотидних основ - аденіну (А), тиміну (Т), гуаніну (G) і цитозину (С). У той же час хроматична музична гамма складається з дванадцяти нот, що утворюють 12-тональний лад, який сьогодні є ладом, що найбільш часто використовується у західній музиці. Ясно, що ці 12 тонові послідовності можна інтерпретувати як свого роду послідовність «інформаційних нуклеотидів ДНК». Це підхід, який може змінити сприйняття музики для слухача і допомогти скласти більш інтелектуальну, концептуальну музику для композитора.

Біотехнічна автоматизована система керування (БАСК) для написання музики допомагає композитору створювати музику з меншими зусиллями, завдяки цьому приділяти більше уваги нюансам і в той же час загальній якості складаної музики. Узагальнена структурна схема БАСК складається з трьох основних блоків: А — програмне забезпечення на основі нейронної мережі «Aquarius»; В — композитор (людина); L — слухач або пацієнт музично-терапевтичного впливу.

Всі три компоненти нероздільні, елементи С і А створюють взаємозалежність, оскільки вони весь час взаємодіють між собою в процесі створення музики. Вони також впливають на елемент L, оскільки цей елемент, безсумнівно, є об'єктом впливу БАСК. Випадковий музичний сигнал створюється за допомогою стандартних функцій `C++ rand()` і `srand()`. У БАСК «Aquarius» донині використовувались лише рівномірно розподілені випадкові числа. Але щоб поліпшити продуктивність, розширити можливості вибору необхідного інструментарію для музичної композиції, можна, звичайно, ввести різні розподіли, такі як нормальний, пуассонівський, експоненційний, вейбулівський, логонормальний, дискретний, кусочно-постійний, кусочно-лінійний і т. д. Код `C++` для нормального розподілу дозволяє генерувати випадкові числа, керовані двома основними параметрами - математичним очікуванням і середньоквадратичним відхиленням. Цей код було вставлено в основний код БАСК, і з його допомогою була отримана нова стохастична музика.

Ключові слова: музична композиція; електронний композитор; нейронна мережа.

Vishnevsky A. V.

AUTOMATED MUSIC COMPOSING WITH NORMAL RANDOM NUMBERS DISTRIBUTION AS “INFORMATIONAL DNA” SEQUENCING

There are approximately 3 billion of the base pairs in a human genome, a complete set of deoxyribonucleic acid (DNA), made of two twisting paired strands, consists of four nucleotide bases - adenine (A), thymine (T), guanine (G) and cytosine (C). At the same time chromatic musical scale consists of twelve pitches, forming a 12-tone equal temperament, which is today a most often used temperament in Western music. It is clear that one can interpret these 12 tones sequence as a sort of “informational DNA nucleotides” sequence. It’s an approach, that can change music perception for a listener and can help to compose a more cognitive, conceptual music for a composer. Biotechnical automated control system (BACS) for music composing helps the composer to produce music with less effort, and because of it to pay more attention to the nuances, and at the same time to general quality of composed music. The generalized structural scheme of BACS consists of three main building blocks: A –neural network based software “Aquarius”; C – a human composer himself; L – a listener, or a patient of music therapy impact. All three components are inseparable, C and A elements create mutual dependence, because they interact all the time in the process of music creation. They also impact the L element, because this element is undoubtedly the BACS object of impact. The random musical signal is being created with the help of standard rand() and srand() C++ functions. In the BACS “Aquarius” to this day only uniformly distributed random numbers were used. But in order to improve performance, to widen the opportunities for choosing the needed tools for a musical composition, it is possible, of course, to introduce different distributions, such as normal, Poisson, exponential, Weibull, lognormal, discrete, piecewise constant, piecewise linear etc. The c++ code for normal distribution allows to generate random numbers, managed by two main parameters – mean and standard deviation. This code has been inserted into the main code and new stochastic music has been obtained with its assistance.

Keywords: music composition; music composing software; neural network.

Вишневатский А. В.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ КОМПОЗИЦИЯ МУЗЫКИ С НОРМАЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ КАК СЕКВЕНСИРОВАНИЕ “ИНФОРМАЦИОННОЙ ДНК”

В геноме человека приблизительно 3 миллиарда пар оснований, полный набор дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), состоящий из двух скрученных парных цепочек, состоит из четырех нуклеотидных оснований - аденина (А), тимина (Т), гуанина (G) и цитозина (С). В то же время хроматическая музыкальная гамма состоит из двенадцати нот, образующих 12-тональный строй, который сегодня является наиболее часто используемым строем в западной музыке. Ясно, что эти 12 тоновых последовательностей можно интерпретировать как своего рода последовательность «информационных нуклеотидов ДНК». Это подход, который может изменить восприятие музыки для слушателя и помочь составлять более интеллектуальную, концептуальную музыку для композитора. Биотехническая автоматизированная система управления (БАСУ) для сочинения музыки помогает композитору создавать музыку с меньшими усилиями, благодаря этому уделять больше внимания нюансам и в то же время общему качеству сочиняемой музыки. Обобщенная структурная схема БАСУ состоит из трех основных блоков: А - программное обеспечение на основе нейронной сети «Aquarius»; В - композитор (человек); L - слушатель или пациент музыкально-терапевтического воздействия. Все три компонента неразделимы, элементы С и А создают взаимозависимость, потому что они все время взаимодействуют в процессе создания музыки. Они также влияют на элемент L, потому что этот элемент, несомненно, является объектом воздействия БАСУ. Случайный музыкальный сигнал создается с помощью стандартных функций C++ rand() и srand(). В БАСУ «Aquarius» по сей день использовались только равномерно распределенные случайные числа. Но чтобы улучшить производительность, расширить возможности выбора необходимого инструментария для музыкальной композиции, можно, конечно, ввести различные распределения, такие как нормальное, пуассоновское, экспоненциальное, вейбулловское, логонормальное, дискретное, кусочно-постоянное, кусочно-линейное и т. д. Код с ++ для нормального распределения позволяет генерировать случайные числа, управляемые двумя основными параметрами – математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением. Этот код был вставлен в основной код БАСУ, и с его помощью была получена новая стохастическая музыка.

Ключевые слова: музыкальная композиция; электронный композитор; нейронная сеть.

Стаття надійшла до редакції 03.05.2019 р.
Прийнято до друку 10.06.2019 р.