

DOI: 10.18372/2310-546.41.13522

УДК 681.5.013 (045)

О. В. Вишнівський, канд. техн. наук, доцент
Національний авіаційний університет, Україна
orcid.org/0000-0002-0510-7283
e-mail: av@nau.edu.ua

ЗАСТОСУВАННЯ КОМПЛЕКСНОГО ПІДХОДУ У ВИКОРИСТАННІ ЕЛЕКТРОННОГО КОМПОЗИТОРА

Вступ

Академік В. М. Глушков більше сорока п'яти років тому запропонував кілька нових способів поліпшення характеристик систем на основі програм штучного інтелекту (ШІ), що займаються написанням музики [1]. На жаль, з тих пір і понині в наукових дослідженнях не було отримано скільки-небудь видатних результатів у даній царині [2].

Загальна постановка проблеми

У цьому році виповнюється 88 років з дня народження Софії Асгатівни Губайдуліної — російського композитора зі світовим ім'ям та просто чудової людини. Вона вважає, що після поліфонічно багатого, але мелодично обділеного ХХ ст. сьогодні мелодія поступово повертається в музику. Віддаючи їй заслужену шану, слід і біотехнічну програмну автоматизовану систему керування (БАСК) «Aquarius» [3–4] вивести на новий якісний рівень.

Нагадаємо, що БАСК (електронний композитор) «Aquarius» («Водолій») являє собою програмний продукт на основі ШІ, що дозволяє синтезувати монофонічну, поліфонічну, діатонічну, пентатонічну та хроматичну музику з можливістю подальшого перетворення її в стандартний MIDI або mp3-файл, а також і в класичну нотну партитуру. Вона (БАСК) стала основою для розробки програмного пакета, орієнтованого на користувача — слухача музики, або ж пацієнта музичного терапевтичного впливу. Призначення створеної БАСК, що дозволяє моделювати монофонічні і поліфонічні звукові ряди на основі стохастичного базису або ж звичайного випадкового сигналу з рівномірним розподілом, полягає в подальшому використанні синтезованих звуко-рядів для музичного або ж музично-терапевтичного впливу на об'єкт — мозок людини (авіаційний диспетчер, пілот, космонавт і т. д.), а точніше на когнітивні функції мозку, такі як увага, пам'ять, сприйняття — для підвищення її (людини) загальної працездатності, психологічної витривалості, емоційної рівноваженості та більш

гармонійної і ефективною взаємодії з навколишнім середовищем в цілому.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

На сьогодні наукове співтовариство проявляє великий інтерес до проблем вивчення взаємозв'язків музики, математики та психології. Приклади таких вельми цікавих досліджень можна знайти в [5–8]. Математика дробових похідних, що застосовується для побудови активаційної функції відповідної нейронної схеми електронного композитора, викладена в [9]. Нарешті, синтез систем ортогональних стохастичних послідовностей розглянуто в праці [10]. Подібні послідовності необхідні для отримання використовуваного надалі музичного стохастичного базису.

Мета статті

Необхідно розробити модернізовану концепцію БАСК для автоматизованого синтезу музики з урахуванням вимог як за якістю синтезованої музики, так і суттєвого зменшення обсягу рутинної праці композитора. Подібна стратегія видається на сьогодні оптимальною, або ж принаймні досить перспективною.

Музичний синтез

В рамках запропонованого комплексного підходу експозиція музичного твору складається вручну, в той час як його поліфонічна розробка як і раніше виконується за допомогою власне електронного композитора. Насправді така схема дозволяє будувати більш продуману, послідовну, когнітивно-орієнтовану фактуру. До того ж написана таким чином музика, можливо, зможе викликати більш цілісний, позитивний, свідомий відгук слухача (в сенсі реакції на отриманий ним емоційний або музично-терапевтичний вплив). Отже, мелодія створюється вручну, для цього технічно використовується програмне забезпечення Music Creator.

Після експозиції синтезується розробка теми (частіше діатонічна, хроматична, потім знову діатонічна) за допомогою електронного композитора «Aquarius».

Як одна з найважливіших ланок музичної тканини, каденція також створюється вручну. Зрозуміло, (тональні) варіації основної теми можуть бути введені в твір стільки разів, скільки це необхідно. Те ж стосується ритму, темпу, динаміки, а також різноманітних мелізмів.

Нейронна схема

На рис. 1 наведено нейронну схему (НС) БАСК «Aquarius» [11]. На ньому використані такі умовні позначення: — вхідний стохастичний

сигнал; **TDL** — ланка тимчасової затримки (використовується за потребою); **weight, weights** — вагові коефіцієнти; **bias** — сигнал зміщення; **netsum** та Σ — суматор; **tansig** та \triangleright — функція активації; $a[i]$ — вихідний сигнал; **dotprod** — блок скалярного множення; **Mux** — мікшер вихідних сигналів; **x** — помножувач.

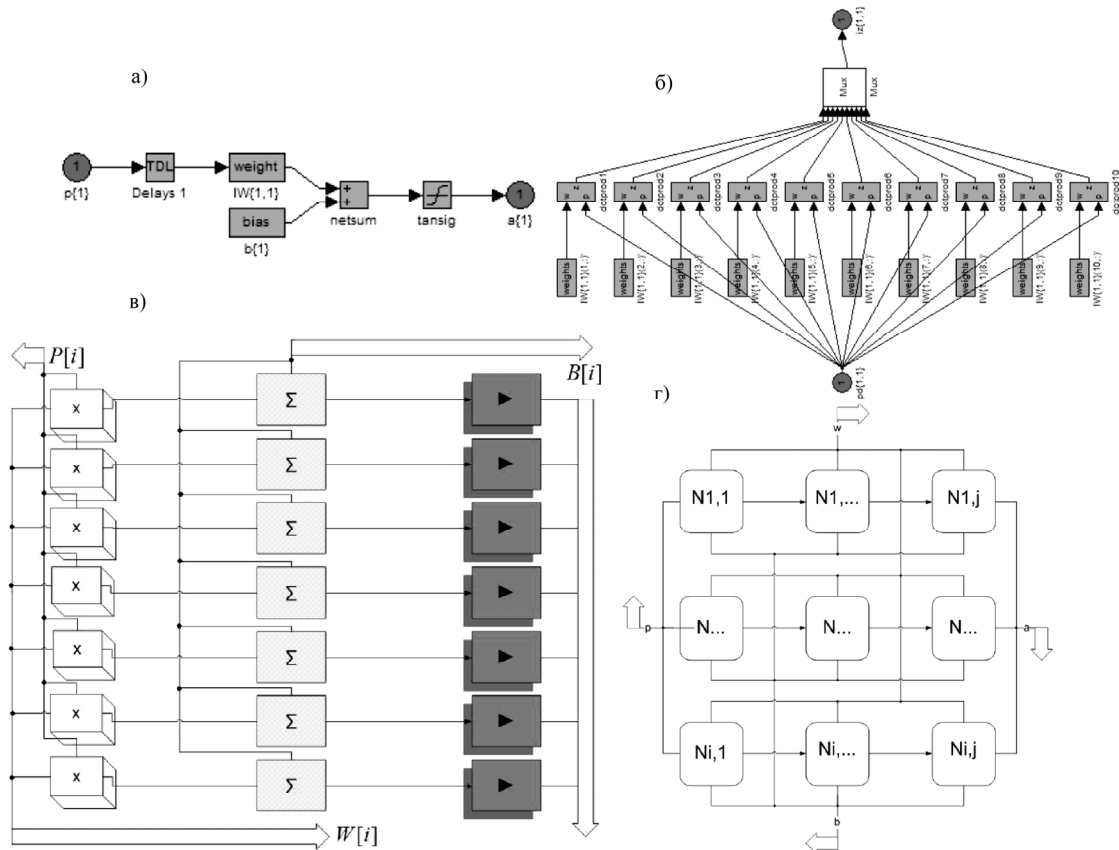


Рис. 1. Узагальнений вид нейронної схеми (а); вагові коефіцієнти (б); структурна схема обробки 7-нотних акордів (в); структурна схема, що складається з N комплексних 7-входових нейронів (г)

Рис. 1 — а) дає уявлення про загальне компонування використовуваної одношарової нейронної мережі (НС) з прямим розповсюдженням сигналу.

Рис. 1 — б) розкриває схемотехнічну реалізацію матриці вагових коефіцієнтів.

Рис. 1 — в) показує функціонування розробленого алгоритму, спрямованого на паралельну нейронну обробку 7-нотних акордів.

Рис. 1 — г) демонструє можливість використання 7-входової НС в матричній схемі, що складається з однакових за структурою штучних нейронів. Число таких нейронів має визначатися виходячи з практичних потреб і може переглядатися залежно від складності конкретної розв'язаної задачі.

Функція активації

Використання в музичній композиції випадкових чисел або стохастичного базису дозволяє отримати оригінальний за структурою, але досить монотонний за звучанням вихідний музичний сигнал.

Для додання йому більшої витонченості та усунення відомої тривіальності фактури, що є (неминучим?) наслідком автоматизації процесу композиції музики, було вирішено використовувати в якості активаційної функції цифрової фільтр, побудований на розв'язанні лінійного диференціального рівняння в дробових похідних (за Капуто) (1) з початковими умовами (2) [3; 9].

Крім того, таке рішення в теорії дозволяє експлуатувати даний блок нелінійного перетворення (з відомими переробками) в інший цілком самостійної галузі обробки інформації, такий як криптографічний захист даних.

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

$$y(0) = y_0, \quad 0 \leq x < X, \quad 0 < \beta < 1, \quad (2)$$

де

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

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

ний музичний сигнал.

На рис. 2 наведені точне (суцільна) та апроксимаційне (ступінчата лінія) розв'язання рівняння (1).

Ортогональний стохастичний базис

Нехай стохастичний музичний сигнал впливає на вхід деякого пристрою, призначеного для

отримання музичного ортогонального стохастичного базису [4, 10].

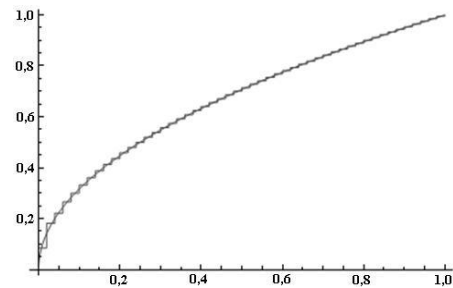


Рис. 2. Активаційна функція НС

Це пристрій показано на рис. 3. Він складається з нескінченного числа гіпотетичних фільтрів $\Pi_i = f_B^i - f_H^i$, кожний з яких має однакову смугу пропускання.

Фільтри покривають весь спектр первинного сигналу без взаємного перекриття, при цьому $f_B^i = f_H^{i+1}$.

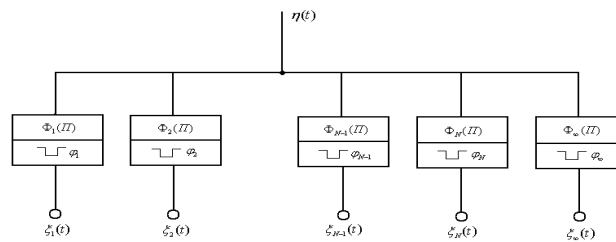


Рис. 3. Структурна схема пристрою «музичний стохастичний базис»

Такий пристрій на своєму виході створює музичний стохастичний базис [10]. Цей стохастичний базис може бути або переданий безпосередньо користувачеві, або попередньо зважений первинним музичним сигналом залежно від мети, поставленої автором твору (3):

$$s(t) = \begin{pmatrix} s_{1,1}(t)_k & s_{1,2}(t)_k & \dots & s_{1,N}(t)_k \\ s_{2,1}(t)_k & s_{2,2}(t)_k & \dots & s_{2,N}(t)_k \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_{N,1}(t)_k & s_{N,2}(t)_k & \dots & s_{N,N}(t)_k \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \xi(t)_1 \\ \xi(t)_2 \\ \dots \\ \xi(t)_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} * \\ s(t)_1 \\ * \\ \dots \\ * \\ s(t)_N \end{pmatrix} \quad (3)$$

Нижче наведено фрагмент коду (C++) для отримання музичного стохастичного базису, який у даному випадку складається з п'яти цифрових фільтрів **random1** — **random5**:

```
int random1 (int n){ int res;double temp_res;
```

```
do{temp_res=(double)rand()/(double)
RAND_MAX; }
while (temp_res<0.2);
res=(int) (n*temp_res);return res;}
...
int random5 (int n){ int res;double
temp_res;
do{temp_res=(double)rand()/(double)
RAND_MAX; }
while (temp_res>=0.8);
res=(int) (n*temp_res);return res;}
```

Принцип конекціонізму, добре відомий з теорії нейронних мереж, у процесі синтезу і навчання НС віддає пріоритет первісному формуванню та подальшому коригуванню матриці вагових коефіцієнтів з урахуванням можливих зворотних зв'язків. Отже, тут можна використовувати оператор автоматизації для перетворення вхідного сигналу, представленого в комплексній формі, в цільовий звукоряд [3, 12]:

$$\begin{matrix}
 \Psi_{1,1} e^{i \frac{180^\circ}{\pi}} & \Psi_{1,2} e^{2i \frac{180^\circ}{\pi}} & \dots & \Psi_{1,N} e^{Ni \frac{180^\circ}{\pi}} \\
 \Psi_{2,1} e^{(N+1)i \frac{180^\circ}{\pi}} & \Psi_{2,2} e^{(N+2)i \frac{180^\circ}{\pi}} & \dots & \Psi_{2,N} e^{2Ni \frac{180^\circ}{\pi}} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \Psi_{N,1} e^{(N \times N - (N-1))i \frac{180^\circ}{\pi}} & \Psi_{N,2} e^{(N \times N - (N-2))i \frac{180^\circ}{\pi}} & \dots & \Psi_{N,N} e^{N \times Ni \frac{180^\circ}{\pi}}
 \end{matrix} \bullet \begin{matrix} |s(t)_1^1| \\ |s(t)_2^1| \\ \dots \\ |s(t)_N^1| \end{matrix} = \begin{matrix} |s^*(*)_1^1| \\ |s^*(*)_2^1| \\ \dots \\ |s^*(*)_N^1| \end{matrix},$$

$$\begin{matrix}
 \Psi_{1,1} e^{i \frac{180^\circ}{\pi}} & \Psi_{1,2} e^{2i \frac{180^\circ}{\pi}} & \dots & \Psi_{1,N} e^{Ni \frac{180^\circ}{\pi}} \\
 \Psi_{2,1} e^{(N+1)i \frac{180^\circ}{\pi}} & \Psi_{2,2} e^{(N+2)i \frac{180^\circ}{\pi}} & \dots & \Psi_{2,N} e^{2Ni \frac{180^\circ}{\pi}} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \Psi_{N,1} e^{(N \times N - (N-1))i \frac{180^\circ}{\pi}} & \Psi_{N,2} e^{(N \times N - (N-2))i \frac{180^\circ}{\pi}} & \dots & \Psi_{N,N} e^{N \times Ni \frac{180^\circ}{\pi}}
 \end{matrix} \bullet \begin{matrix} |s(t)_1^2| \\ |s(t)_2^2| \\ \dots \\ |s(t)_N^2| \end{matrix} = \begin{matrix} |s^*(*)_1^2| \\ |s^*(*)_2^2| \\ \dots \\ |s^*(*)_N^2| \end{matrix},$$

$$\dots$$

$$\begin{matrix}
 \Psi_{1,1} e^{i \frac{180^\circ}{\pi}} & \Psi_{1,2} e^{2i \frac{180^\circ}{\pi}} & \dots & \Psi_{1,N} e^{Ni \frac{180^\circ}{\pi}} \\
 \Psi_{2,1} e^{(N+1)i \frac{180^\circ}{\pi}} & \Psi_{2,2} e^{(N+2)i \frac{180^\circ}{\pi}} & \dots & \Psi_{2,N} e^{2Ni \frac{180^\circ}{\pi}} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \Psi_{N,1} e^{(N \times N - (N-1))i \frac{180^\circ}{\pi}} & \Psi_{N,2} e^{(N \times N - (N-2))i \frac{180^\circ}{\pi}} & \dots & \Psi_{N,N} e^{N \times Ni \frac{180^\circ}{\pi}}
 \end{matrix} \bullet \begin{matrix} |s(t)_1^N| \\ |s(t)_2^N| \\ \dots \\ |s(t)_N^N| \end{matrix} = \begin{matrix} |s^*(*)_1^N| \\ |s^*(*)_2^N| \\ \dots \\ |s^*(*)_N^N| \end{matrix}.$$

Створення музики вручну

У чому головна перевага використання електронного композитора? Звичайно, в першу чергу це швидкість композиції музичного твору. Всього одним клацанням миші можна майже миттєво отримати десятки, сотні, або навіть тисячі (!) сторінок, заповнених нотними знаками. Але тут є, зрозуміло, і серйозний мінус. Як це часто буває, автоматизація не означає справжнє поліп-

шення за замовчуванням. Щоб наповнити музичний твір емоціями, привнести в нього неповторність, чарівність, почуття, що є першочергово важливо для музики, все одно доведеться багато чого робити самостійно. Так, на рис. 4 показані чотири фрагменти нот (фортепіано). Два з них були складені автоматизовано, крім експозиції (перші чотири такти) і каденції (останні шість тактів), де музика була написана вручну.

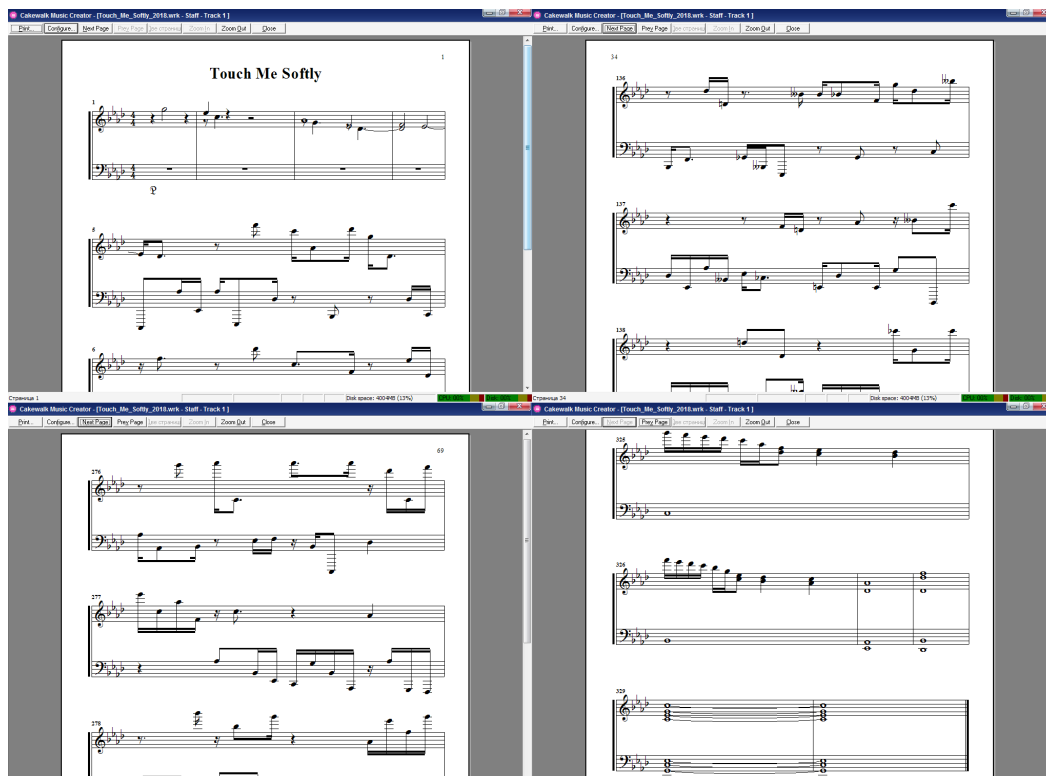


Рис. 4. Звукоряд на виході БАСК «Aquarius»

Музичний аналіз

На рис. 5 подано вигляд фрагмента хроматичної частини розробки твору. Нижче викладено автокоментар композитора до нього. Цей фрагмент має досить швидкий темп, використані головним чином шістнадцяті ноти. У музичному творі присутня складна хроматична поліфонія, твір виконується з натиснутою правою пе-

даллю (не показано в нотах). Через це драматургія п'єси отримує новий розвиток: звуки восьми і шістнадцятих нот об'єднуються один з одним та поступово переходять в одного кластери, додаючи в композицію дух акцентованою рефлексії.

Транспозиція в C-dur виконана для легкості читання.

Рис. 5. Деталізований вигляд фрагмента хроматичної частини композиції (C-dur)

Висновки

Викладений в статті комплексний підхід, що являє собою теоретичне і практичний розвиток

концепції, викладеної в праці [13], на думку автора може значно підвищити якість музики, створеної за допомогою програмного забезпе-

чення для електронної композиції. Навіть сьогодні автоматизоване створення класичної музики, безсумнівно, є однією з найскладніших завдань як в прикладній математиці, так і в розробці цільового програмного забезпечення. Це вимагає від тих, хто хоче реалізувати якісну модель та втілити її у практичне застосування — системного підходу і уважності до кожної мислимої деталі з одного боку, і по-справжньому творчої, безстрашної відданості своїй справі, навіть беззавітної пристрасності з іншого. Більш того, останні два елементи повинні підтримуватися автором такої розробки протягом значного періоду часу, оскільки процес створення як математичної моделі електронного композитора, так і власне програмного забезпечення є тривалим, складним, іноді навіть болючим процесом.

Бажаємо успіхів усім тим, хто хоче досягти успіху на цьому нелегкому, але вельми вдячному шляху.

ЛІТЕРАТУРА

1. Глушков В. М. Введение в кибернетику: монографія. К., 1964. 324 с.
2. Вишнівський О. В. Елементи теорії образів. *Авіа-2002*: матеріали IV міжнародної наук.-техн. конф. (23-25 квітня 2002 р., м. Київ). К.: НАУ, 2002. Т.1. С.13.119. С.13.122.
3. Вишнівський О. В. Синтезатор звукового ряду на основі випадкового процесу. *Електроніка та системи управління*. 2011. №4 (30). С. 31–36.
4. Вишнівський О. В. Синтезатор звукового ряду на основі стохастичного базиса. *Авіа-2013* : матеріали XI міжнародної наук.-техн. конф. (21–23 травня 2013 р., м. Київ). К. : НАУ, 2013. Т.4. С. 23.17–23.20.
5. Benson D. J. Music: a mathematical offering. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 426 p.
6. Fauvel J., Flood R., Wilson R.J. Music and mathematics: from Pythagoras to fractals. Oxford New York: Oxford University Press, 2006. 200 p.
7. Roberts G. E. From music to mathematics: exploring the connections. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 2016. 320 p.
8. Theureau J., Donin N. Comprendre une activité de composition musicale: les relations entre sujet, activité créatrice, environnement et conscience pré-réflexive. In: Barbier JM, Durand M (eds) Sujets, activités, environnements. Approches transverses. Paris: Presses Universitaires de France, 2006. P. 221–251.
9. Васильев В. В., Симаков Л. А. Дробное исчисление и аппроксимационные методы в моделировании динамических систем: научное издание. Киев: НАН Украины, 2008. 256 с.
10. Бойко І.Ф. Синтез систем ортогональних стохастичних послідовностей. *Авіа-2004* : матеріали VI міжнародної наук.-техн. конф. (26–28 квітня 2004 р., м.Київ). К. : НАУ, 2004. Т.1. С. 23.47 — 23.51.
11. Vishnevsky A. V. The neural scheme of an electronic composer. *Електроніка та системи управління*. 2013. №1 (35). С. 107–110.
12. Vishnevsky A. V. Self-basis operator and orthogonal stochastic basis application for information processing. *Електроніка та системи управління*. 2011. №2 (28). С. 16-20.
13. Vishnevsky A. V. Advanced approach to usage of an electronic composer. *Aviation in the XXI-st century. Safety in aviation and space technologies: proceedings of the 8-th world congress* (October 10–12, 2018, Kyiv, Ukraine). К., 2018. V.3. P4.1.6–4.1.8.

Вишнівський О. В.

ЗАСТОСУВАННЯ КОМПЛЕКСНОГО ПІДХОДУ У ВИКОРИСТАННІ ЕЛЕКТРОННОГО КОМПОЗИТОРА

Запропоновано комплексний підхід у використанні електронного композитора. На сьогодні наукове співтовариство проявляє великий інтерес до проблем вивчення взаємозв'язків музики, математики та психології. Тому розглянуто створення та рекомендації щодо практичного використання музичної біотехнічної автоматизованої системи керування, яка дозволяє моделювати монофонічні і поліфонічні звукові ряди на основі стохастичного базису або ж звичайного випадкового сигналу з рівномірним розподілом, з метою подальшого використання цього звукоряду для музичного або ж музично-терапевтичного впливу на об'єкт — когнітивні функції мозку людини (авіаційний диспетчер, пілот, космонавт тощо). Подано модернізовану концепцію автоматизованого синтезу музики з урахуванням вимог як до якості синтезованої музики, так і суттєвого зменшення обсягу рутинної праці композитора. Подібна стратегія видається на сьогоднішній день оптимальною, або ж принаймні досить перспективною. Автоматизоване створення музики є однією з найскладніших завдань як в прикладній математиці, так і в розробці цільового програмного забезпечення. В рамках запропонованого комплексного підходу експозиція музичного твору разом з каденцією складається автором музичного твору вручну, в той час як його поліфонічна розробка виконується за допомогою власне електронного композитора. Використання в музичній композиції випадкових чисел або стохастичного базису дозволяє отримати оригінальний за структурою, але вельми монотонний за звучанням вихідний музичний сигнал. Для додання йому більшої витонченості та усунення відомої тривіальності фактури, що є наслідком автоматизації процесу композиції, в яко-

сті активаційної функції нейронної схеми використано цифрової фільтр, побудований на розв'язанні лінійного диференціального рівняння в дробових похідних (за Капуто). Результат напівавтоматичного моделювання системи оцінюється як більш природний, коректний та стратегічно перспективний.

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

Vishnevsky A. V.

APPLICATION OF THE COMPLEX APPROACH FOR USAGE OF MUSIC COMPOSING SOFTWARE

A complex approach of using the electronic composer has been proposed. Today, the scientific community has shown great interest in the problems of studying the interrelationships of music, mathematics and psychology. Therefore, creation and giving recommendations on the practical use of musical biotechnical automated control system, which allows to compose monophonic and polyphonic sound series using a stochastic basis or a regular random signal with a uniform distribution, with an objective to further application of this sound series for musical or musical-therapeutic effects on the object of influence — cognitive functions of the human brain (aviation dispatcher, pilot, cosmonaut, etc.), has been considered. The modernized concept of automated music synthesis is highlighted, taking into account the requirements of both the quality of composed music and a significant reduction of the composer's routine work. Such a strategy seems to be optimal today, or at least very promising. Automated music creation is one of the most difficult tasks in both applied mathematics and the development of targeted software. Within the framework of the proposed integrated approach, an exposition of a musical piece together with a cadenza is composed by the author of a musical work manually, while its polyphonic development is carried out with the help of the music composing software. The use of random numbers or a stochastic basis in a musical composition makes it possible to get a musical signal that is original in structure but somewhat monotonous in sound. To make it more sophisticated and eliminate the triviality of the musical texture, which is a consequence of the automation of the music composition process, a digital filter based on solution of a linear differential equation in fractional derivatives (according to Caputo) is used as the activation function of the neural scheme. The result of semi-automated modeling of the system is estimated as more natural, correct and strategically perspective.

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

Вишневский А. В.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА В ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭЛЕКТРОННОГО КОМПОЗИТОРА

Предложен комплексный подход в использовании электронного композитора. Сегодня научное сообщество проявляет большой интерес к проблемам изучения взаимосвязей музыки, математики и психологии. Поэтому рассмотрено создание и рекомендации по практическому использованию музыкальной биотехнической автоматизированной системы управления, которая позволяет моделировать монофонические и полифонические звуковые ряды на основе стохастического базиса или обычного случайного сигнала с равномерным распределением, с целью дальнейшего использования этого звукоряда для музыкального или музыкально-терапевтического воздействия на объект — когнитивные функции мозга человека (авиационный диспетчер, пилот, космонавт и т.д.). Освещена модернизированная концепция автоматизированного синтеза музыки с учетом требований как к качеству синтезируемой музыки, так и существенному уменьшению объема рутинной работы композитора. Подобная стратегия представляется на сегодняшний день оптимальной, или же по крайней мере весьма перспективной. Автоматизированное создание музыки является одной из самых сложных задач как в прикладной математике, так и в разработке целевого программного обеспечения. В рамках предложенного комплексного подхода экспозиция музыкального произведения вместе с каденцией сочиняется автором музыкального произведения вручную, в то время как его полифоническая разработка выполняется с помощью собственно электронного композитора. Использование в музыкальной композиции случайных чисел или стохастического базиса позволяет получить оригинальный по структуре, но весьма монотонный по звучанию выходной музыкальный сигнал. Для придания ему большей утонченности и устранения известной тривиальности фактуры, что является следствием автоматизации процесса композиции, в качестве активационной функции нейронной схемы использовано цифровой фильтр, построенный на решении линейного дифференциального уравнения в дробных производных (по Капуто). Результат полуавтоматической моделирования системы оценивается как более естественный, корректный и стратегически перспективный.

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

Стаття надійшла до редакції 27.01.2019 р.
Прийнято до друку 07.03.2019 р.